جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للمناهج



للصف السادس العلمي

الفرع التطبيقي

تأليف

أ. د. قاسم عزيز محمد أ. د. حازم لويس منصور سعيد مجيد العبيدي
د. شفاء مجيد جاسم أ. د. ماهر ناصر سرسم أ. د. محمد صالح مهدي
محمد حمد العجيلي

الطبعة الثامنة ١٤٤٣هـ/٢٠٢١م

المشرف العلمي على الطبع: م.م. خـــالدة كـــاطع حـــسن

المشرف الفني على الطبع: م.م. علي مصطفى كمال رفيق

الموقع والصفحة الرسمية للمديرية العامة للمناهج





مقدمة

عزيزي الطالب .....

عزيزتي الطالبة .....

يمثل هذا الكتاب دعامة من دعائم المنهج المطور في الفيزياء والذي يعمل على تحقيق أهداف علمية وعملية تواكب التطور العلمي في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، كما يحقق هذاالكتاب ربطا للحقائق والمفاهيم التي يدرسها الطالب بواقع حياته اليومية المجتمعية.

إن هذا المنهج يهدف الى جملة من الأهداف هي:

1- إكساب الطالب منهجية التفكير العلمي والانتقال به من التعليم المعتمد على الحفظ إلى التعلم الذاتي الممتزج بالمتعة والتشويق.
2- محاولة تدريب الطالب على الاستكشاف من خلال تنمية مهارات الملاحظة والتحليل والاستنتاج والتعليل.
3- إكساب الطالب المهارات الحياتية والقدرات العلمية التطبيقية.
4- توضيح العلاقة بين العلم والتكنولوجيا في مجال العلوم وتأثيرها في التنمية وربطها بالحياة العملية.
5- تنمية مفهوم الاتجاهات الحديثة في الحفاظ على التوازن البيئي عملياً وعالمياً.

يضم هذا الكتاب عشرة فصول هي: (الفصل الأول – المتسعات، الفصل الثاني – الحث الكهرومغناطيسي، الفصل الثالث – التيار المتناوب، الفصل الرابع – الموجات الكهرومغناطيسية، الفصل الخامس – البصريات الفيزيائية، الفصل السادس – الفيزياء الحديثة، الفصل السابع – الكترونيات الحالة الصلبة، الفصل الثامن – الأطياف الذرية والليزر، الفصل التاسع – نظرية النسبية، والفصل العاشر – الفيزياء النووية . ويحتوي كل فصل على مفاهيم جديدة مثل (هل تعلم ، تذكر ، سؤال ، فكر) فضلاً عن مجموعة كبيرة من التدريبات والانشطة المتنوعة ليتعرف الطالب من خلالها على مدى ما تحقق من أهداف ذلك الفصل.

نقدم الشكر والتقدير لكل من د.حنان حسن مجيد العلاف والاختصاصي التربوي بثينة مهدي محمد لمراجعتهم العلمية للكتاب كما نقدم شكرنا إلى كل من الاختصاصي التربوي جلال جواد سعيد والاختصاصي التربوي انتصار عبد الرزاق العبيدي و السيد عباس ناجي البغدادي لإسهامهم العلمي في إخراج هذا الكتاب بهذا الشكل وكذلك أعضاء وحدة مناهج الفيزياء.

نسأل الله عزَّ وجل أَّن تعمَّ الفائدة من خلال هذا الكتاب، وندعوه سبحانه ان يكون ذلك أساس عملنا والذي يصب في حب وطننا والانتماء اليه والله ولي التوفيق.

المؤلفون



ارشادات بيئية

* بيئة نظيفة تعني حياة افضل
* عندما تكون للبيئة اولوية... البيئة تدوم
* الماء شريان الحياة فحافظ عليه من التلوث
* حماية البيئة مسؤولية الجميع فلنعمل لحمايتها
* البيئة ملك لك ولاجيالك القادمة فحافظ عليها من التلوث
* لنعمل من أجل بيئة افضل ووطن أجمل
* من أجل بيئة أجمل ازرع ولا تقطع
* حافظ على بيئتك لتنعم بحياة افضل
* بيئة الانسان مرآة لوعيه
* لنعمل معا... من أجل عراق خال من التلوث
* يد بيد من أجل وطن اجمل
* بيئتك حياتك... فساهم من اجل جعلها مشرقة
* البيئة بيتنا الكبير... فلنعمل على جعله صحيا ونظيفا

الفصل الأول 1

المتسعات
Capacitors







مفردات الفصل:

الاهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يعرف مفهوم المتسعة.
- يذكر انواع المتسعات.
- يوضح العازل الكهربائي.
- يقارن بين العوازل القطبية والعوازل غير القطبية.
- يتعرف على طريقة ربط التوالي.
- يتعرف على طريقة ربط التوازي.
- يقارن بين طريقة ربط التوالي وطريقة ربط التوازي.
- يجري تجربة يشرح كيفية شحن المتسعة.
- يجري تجربة لمعرفة كيفية تفريغ المتسعة.
- يذكر بعض التطبيقات العملية للمتسعة.

المصطلحات العلمية

Capacitance	السعة
Capacitor	المتسعة
Capacitors in series combination	ربط المتسعات على التوالي
Capacitors in parallel combination	ربط المتسعات على التوازي
Electric charge	الشحنة الكهربائية
Parallel plates capacitor	المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين
Dielectric	العازل الكهربائي
Permittivity constant	ثابت السماحية
Electric field	المجال الكهربائي
Electric difference potential	فرق الجهد الكهربائي
Electric potential energy	الطاقة الكامنة الكهربائية
Charging capacitor	شحن المتسعة
Electric potential gradient	انحدار الجهد الكهربائي
Energy density	كثافة الطاقة
Vacuum permittivity	سماحية الفراغ
Electric shock	صدمة كهربائية
Dielectric constant	ثابت العزل الكهربائي
Polar Dielectric	عازل كهربائي قطبي
Dielectric strength	قوة العزل الكهربائي
Non polar dielectric	عازل كهربائي غير قطبي
Equivalent capacitance	السعة المكافئة
Relative permittivity	السماحية النسبية
Discharging capacitor	تفريغ المتسعة

1-1 المتسعة Capacitor

الموصل الكروي المنفرد المعزول يمكنه تخزين كمية محددة من الشحنات الكهربائية. وان الاستمرار في اضافة الشحنات (Q) سيؤدي حتما الى ازدياد جهد الموصل (V) على بعد معين (r) عن مركز الشحنة وعلى وفق العلاقة التي درستها سابقاً تكون:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \times \frac{Q}{r}$$

وكما درست سابقاً أن مقدار ثابت التناسب (k) في قانون كولوم هو:

$$k = \frac{1}{4\pi\ \epsilon_o} = 9\times 10^{9}\, N.m^2/C^2$$

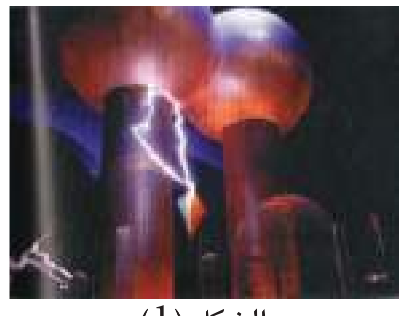
إذ إن: (ϵ_o) هي سماحية الفراغ ومقدارها:

$$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \quad C^2/N.m^2$$

فتصبح العلاقة:

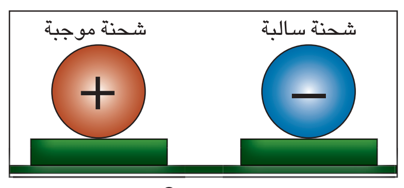
$$V = k\frac{Q}{r}$$

وبذلك يزداد فرق الجهد الكهربائي بينه وبين أي جسم آخر (الهواء مثلاً)، وعندها يزداد مقدار المجال الكهربائي وقد يصل إلى الحد الذي يحصل عنده التفريغ الكهربائي خلال الهواء المحيط به. لاحظ الشكل (1). لذا نادرا ما يستعمل الموصل المنفرد لتخزين الشحنات الكهربائية.


الشكل (1)

لعلك تتساءل هل يمكن صنع جهاز يستعمل لتخزين مقادير كبيرة من الشحنات الكهربائية وتخزن فيه الطاقة الكهربائية؟

لتحقيق ذلك استعمل نظام يتألف من موصلين (باي شكلين كانا) معزولين يفصل بينهما عازل (أما الفراغ أو الهواء أو مادة عازلة كهربائياً). فيكون بمقدوره اختزان شحنات موجبة على أحد الموصلين وشحنات سالبة على الموصل الاخر وهذا ما يسمى **بالمتسعة** الشكل (2).



الشكل (2)

فالمتسعة هي جهاز يستعمل لتخزين الشحنات الكهربائية والطاقة الكهربائية، يتكون من زوج (أو أكثر) من الصفائح الموصلة يفصل بينهما عازل.

توجد المتسعات بأشكال هندسية مختلفة منها متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ومتسعة ذات الاسطوانتين المتمركزتين ومتسعة ذات الكرتين المتمركزتين.

تصنع المتسعات بأشكال مختلفة حجما ونوعا وفقاً لتطبيقاتها العملية لاحظ الشكل (3) يبين مجموعة من المتسعات مختلفة الأنواع والأحجام والتي تستعمل في تطبيقات عملية مختلفة.


الشكل (3)

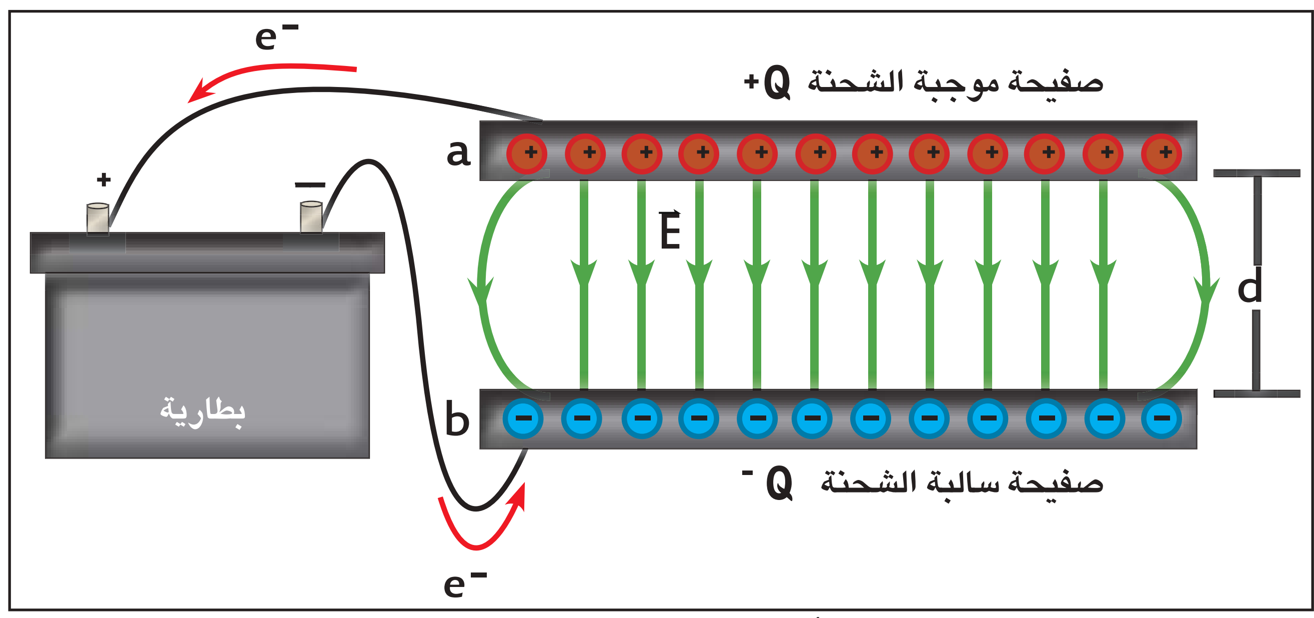
سنتناول في دراستنا في هذا الفصل المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين.

2-1 المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين The parallel- plate Capacitor

غالبا ما يكون الموصلان مستويين متوازيين بينهما مادة عازلة كهربائياً بشكل صفيحتين متوازيتين، وهذا هو أبسط أشكال المتسعات وأكثرها استعمالاً في الأغراض العملية. وفي أغلب التطبيقات العملية تكون الصفيحتان ابتداءاً غير مشحونتين، ولشحنهما تربط احداهما مع القطب الموجب للبطارية فتظهر عليها شحنة موجبة(+Q) والصفيحة الأخرى تربط مع القطب السالب للبطارية فتظهرعليها شحنة سالبة (-Q) مساوية لها في المقدار، وكلا الشحنتين تقعان على السطحين المتقابلين للصفيحتين، بسبب قوى التجاذب بين تلك الشحنات وهذا يعني أن الصفيحتين تحملان شحنتين متساويتين مقدارا ومختلفتين نوعا فيكون صافي الشحنة على الصفيحتين يساوي صفرا.

يبين الشكل (4) متسعة تتألف من صفيحتين موصلتين مستويتين متماثلتين معزولتين ومتوازيتين ومساحة كل منهما(A) مفصولتين عن بعضهما بالبعد (d) ومشحونتين بشحنتين متساويتين مقدارا ومختلفتين نوعا تسمى متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين The parallel- plate Capacitor.

يظهر الشكل (4) خطوط المجال الكهربائي بين صفيحتي متسعة ذات الصفيحتين المستويتين المتوازيتين، ويعد مجالا كهربائياً منتظماً إذا كان البعد (d) بين الصفيحتين صغيرا جدا بالمقارنة مع أبعاد الصفيحة الواحدة، فيهمل عندئذ عدم انتظام خطوط المجال عند الحافات. والرمز المعبر عن المتسعة في الدوائر الكهربائية هو ⊣⊢ أو ⊣(— وينطبق هذا الرمز على جميع أنواع المتسعات.



شكل (4) (المجال الكهربائي المنتظم)

3-1 السعة Capacitance

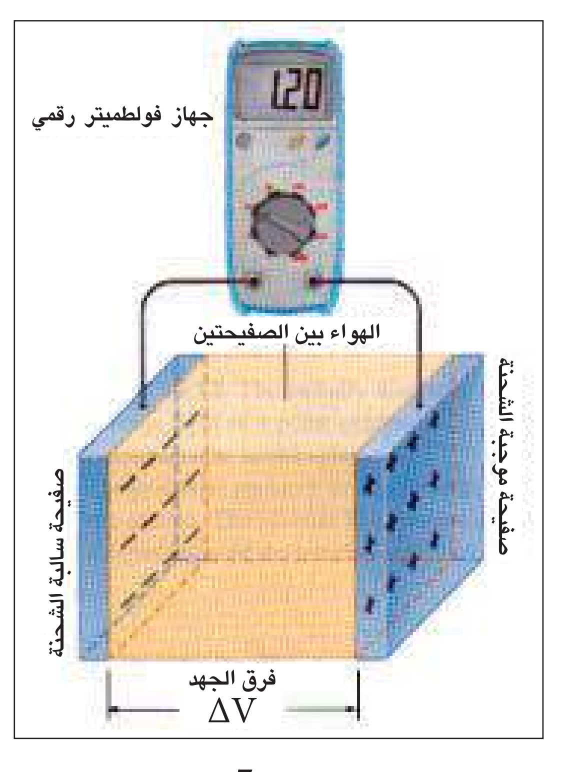
بما أن صفيحتي المتسعة مصنوعتان من مادة موصلة ومعزولتان، فتكون جميع نقاط الصفيحة الواحدة للمتسعة المشحونة بجهد متساوٍ، ويتولد فرق جهد كهربائي بين الصفيحة ذات الجهد الأعلى (الجهد الموجب) والصفيحة

ذات الجهد الأوطأ (الجهد السالب) ويرمز لفرق الجهد بين صفيحتي المتسعة المشحونة (ΔV). لاحظ الشكل (5)

لقد وجد عمليا ان فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين صفيحتي المتسعة المشحونة يتناسب طرديا مع مقدار الشحنة (Q) على أي من صفيحتيها وهذا يعني أن ازدياد مقدار الشحنة (Q) يتسبب في ازدياد مقدار فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين الصفيحتين، لذا يمكن تعريف سعة المتسعة بأنها: « نسبة الشحنة (Q) المختزنة في أي من صفيحتيها الى مقدار فرق الجهد (ΔV) بين الصفيحتين»

أي ان:

$$\frac{Q}{\Delta V} = \text{constant}$$



شكل (5)

والمقدار الثابت (constant) يسمى سعة المتسعة ويرمز لها بالرمز (C)، فتكون:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

وتعد سعة المتسعة مقياسا لمقدار الشحنة اللازم وضعها على أي من صفيحتيها لتوليد فرق جهد كهربائي معين بينهما، والمتسعة ذات السعة الأكبر يعني أنها تستوعب شحنة بمقدار أكبر.

تقاس سعة المتسعة في النظام الدولي للوحدات بـ ($\frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}}$) وتسمى Farad.

$$1\text{Farad} = 1\text{F} = 1\text{Coulomb}/\text{volt}$$

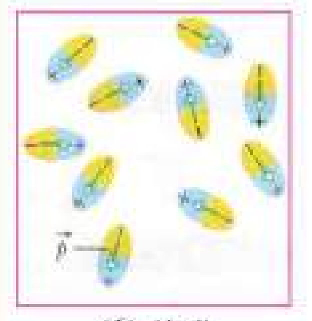
وتكون وحدة (Farad) كبيرة جدا في معظم التطبيقات العملية، فتكون الوحدات الاكثر ملائمة عمليا هي أجزاء الـ Farad وهي :

$$1\mu F = 10^{-6}\,F \quad . \quad 1nF = 10^{-9}F \quad . \quad 1pF = 10^{-12}F.$$

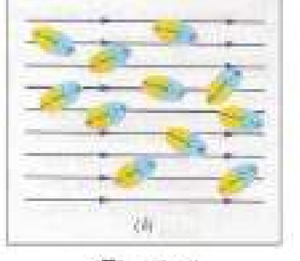
4-1 العازل الكهربائي Dielectric

كما عرفت من دراستك السابقة هناك مواد عدة مثل الورق المشمع، اللدائن (البلاستيك)، الزجاج، فضلاً عن كونها غير موصلة للكهرباء (عازلة) عند الظروف الاعتيادية، فهي تعمل على تقليل مقدار المجال الكهربائي الموضوعة فيه، لذا تسمى بالمواد العازلة كهربائياً Dielectric materials .

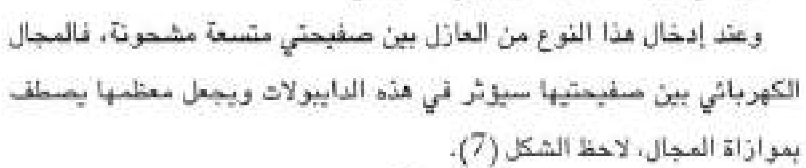
تصنف المواد العازلة كهربائياً الى نوعين:


الشكل (6)

النوع الاول: العوازل القطبية (Polar dielectrics)، مثل الماء النقي، إذ تمتلك جزيئاته عزوما كهربائية ثنائية القطب دائمية، فيكون التباعد بين مركزي شحنتيها الموجبة والسالبة ثابتا (مثل هذه الجزيئة تسمى دايبول، أي جزيئة ثنائية القطب). لاحظ الشكل (6) يوضح الاتجاهات العشوائية لجزيئات العازل القطبية في غياب المجال الكهربائي الخارجي.


الشكل (7)

وعند إدخال هذا النوع من العازل بين صفيحتي متسعة مشحونة، فالمجال الكهربائي بين صفيحتيها سيؤثر في هذه الدايبولات ويجعل معظمها يصطف بموازاة المجال، لاحظ الشكل (7).



ونتيجة لذلك يتولد مجالاً كهربائياً داخل العازل اتجاهه معاكسا لاتجاه المجال الخارجي المؤثر وأقل منه مقدارا.

وبالنتيجة يقل مقدار المجال الكهربائي المحصل بين صفيحتي المتسعة.



الشكل (8-a)

النوع الثاني: العوازل غير القطبية (Non polar dielectrics) (مثل الزجاج والبولي اثيلين)، اذ يكون التباعد بين مركزي شحنتيها الموجبة والسالبة غير ثابت. لاحظ الشكل (8-a).

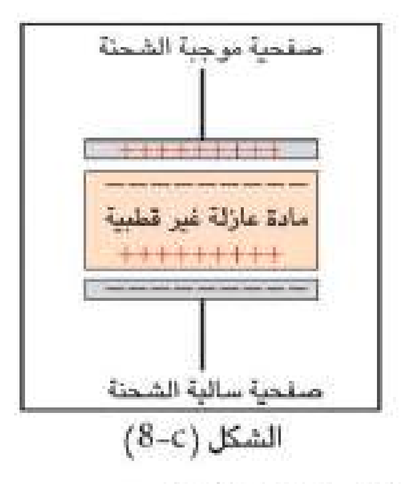
وعند إدخال هذا النوع من العازل بين صفيحتي متسعة مشحونة، سيعمل المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة على إزاحة مركزي الشحنتين الموجبة والسالبة في الجزيئة الواحدة بإزاحة ضئيلة، وهذا يعني انها تكتسب بصورة مؤقتة عزوما كهربائية ثنائية القطب بطريقة الحث الكهربائي، وبهذا يتحول الجزيء الى دايبول كهربائي يصطف باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي المؤثر. لاحظ الشكل (8-b).

المتسعة مشحونة

الشكل (8-b)

وبالنتيجة تظهر شحنة سطحية موجبة على وجه العازل المقابل للصفيحة السالبة للمتسعة في حين تظهر شحنة سطحية سالبة على وجه العازل المقابل للصفيحة الموجبة (ولكن يبقى العازل متعادلا كهربائيا) الشكل (8-c)

وعندئذ يصبح العازل مستقطبا والشحنتان السطحيتان على وجهي العازل تولدان مجالا كهربائيا داخل العازل (E_d) يعاكس في اتجاهه اتجاه المجال المؤثر بين الصفيحتين (E) الشكل (9)، فيعمل على إضعاف المجال الكهربائي الخارجي المؤثر.



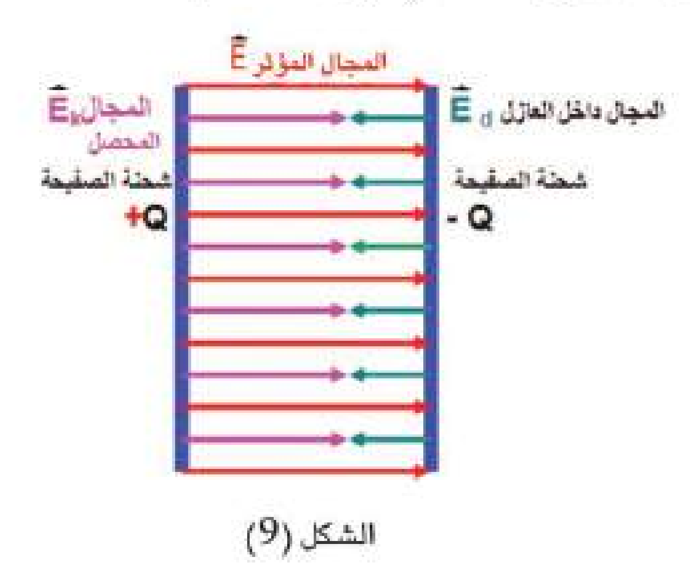
الشكل (8-c)

وفي كلا نوعي العازل الكهربائي يعطى متجه المجال الكهربائي المحصل (E_k)، بالعلاقة الآتية:

$$\vec{E}_k = \vec{E} + \vec{E}_d$$

ومقداره يكون:

$$E_k = E - E_d$$



الشكل (9)

فيقل مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة بنسبة k ويكون $E_k = E/k$

وبما ان المجال الكهربائي ($E = \Delta V/d$) أي إن فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة يتناسب طرديا مع مقدار المجال الكهربائي فيقل فرق الجهد بين الصفيحتين ايضا بنسبة k:

$$\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k}$$

إذ إن ΔV هو فرق الجهد بين الصفيحتين في حالة العازل بينهما هو الفراغ أو الهواء و ΔV_k هو فرق الجهد بينهما بوجود العازل.

ويرمز لمقدار سعة المتسعة بوجود العازل بالرمز C_k فتكون: $C_k = kC$

يعرف ثابت العزل الكهربائي (k) للمادة العازلة بأنه:

النسبة بين سعة المتسعة بوجود العازل C_k وسعتها بوجود الفراغ أو الهواء C.

أي إن:

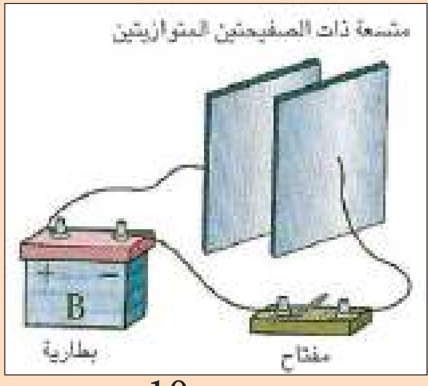
$$k = \frac{C_k}{C}$$

ومنها

$$C_k = kC$$

نشاط

يبين تأثير إدخال العازل الكهربائي بين صفيحتي متسعة مشحونة ومفصولة عن البطارية في مقدار فرق الجهد الكهربائي بينهما (تجربة فراداي Faradays experiment)، وما تأثيره في سعة المتسعة؟



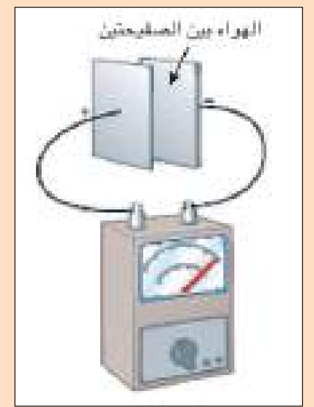
الشكل (a− 10)

ادوات النشاط:

متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين (العازل بينهما هواء) غير مشحونة، بطارية فولطيتها مناسبة ، جهاز فولطميتر اسلاك توصيل، لوح من مادة عازلة كهربائيا (ثابت عزلها k).

خطوات النشاط:

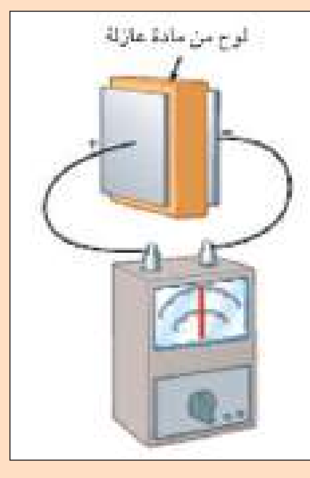
- نربط احد قطبي البطارية باحدى الصفيحتين، ثم نربط القطب الاخر بالصفيحة الثانية، ستنشحن احدى الصفيحتين بالشحنة الموجبة (+Q) والاخرى بالشحنة السالبة (-Q). الشكل (a− 10).



الشكل (10−b)

- نفصل البطارية عن الصفيحتين.
- نربط الطرف الموجب للفولطميتر بالصفيحة الموجبة ونربط طرفه السالب بالصفيحة السالبة، نلاحظ انحراف مؤشر الفولطميتر عند قراءة معينة لاحظ الشكل (10−b)، ماذا يعني ذلك؟ يعني تولد فرق جهد كهربائي (ΔV) بين صفيحتي المتسعة المشحونة في الحالة التي يكون فيها الهواء هو العازل بينهما.
- ندخل اللوح العازل بين صفيحتي المتسعة المشحونة، نلاحظ حصول نقصان في قراءة الفولطميتر ΔV، لاحظ الشكل (c −10).

نستنتج من النشاط :



الشكل (c −10)

ادخال مادة عازلة كهربائيا ثابت عزلها (k) بين صفيحتي المتسعة المشحونة يتسبب في انقاص فرق الجهد الكهربائي بينهما بنسبة مقدارها ثابت العزل (k) فتكون $\Delta V_k = \Delta V / k$. ونتيجة لنقصان فرق الجهد بين الصفيحتين تزداد سعة المتسعة طبقا للمعادلة $C = Q / \Delta V$ بثبوت مقدارالشحنة Q. أي إن:

سعة المتسعة بوجــود العازل الكهربائي تزداد بالعامل (k) فتكون:

$$C_k = kC$$

* يلاحظ على كل متسعة كتابة تحدد مقدار أقصى فرق جهد كهربائي تعمل فيه المتسعة، فهل ترى ذلك ضرورياً؟

الجواب، نعم ضروريا جدا، لأنه في حالة الاستمرار في زيادة مقدار فرق الجهد

المسلط بين صفيحتيها يتسبب ذلك في ازدياد مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين إلى حد كبيرا جدا، قد يحصل عنده الانهيار الكهربائي للعازل، نتيجة لعبور الشرارة الكهربائية خلاله، فتتفرغ عندئذ المتسعة من جميع شحنتها، وهذا يعني تلف المتسعة.

لذا يعطى جدول يبين فيه مقادير ثابت العزل الكهربائي وقوة العزل الكهربائي لمواد مختلفة تستعمل عادة كعازل بين صفيحتي المتسعة. وتعرف قوة العزل الكهربائي لمادة ما بأنها:

أقصى مقدار لمجال كهربائي يمكن أن تتحمله تلك المادة قبل حصول الانهيار الكهربائي لها. وتعد قوة العزل الكهربائي لمادة بانها مقياس لقابليتها في الصمود أمام المجال الكهربائي المسلط عليها.

جدول يوضح مقدار ثابت العزل الكهربائي وقوة العزل الكهربائي للمواد المستعملة عمليا:

المادة material	ثابت العزل الكهربائي k Dielectric constant	قوة العزل الكهربائي Dielectric strength (volt / meter)
الفراغ vacuum	1.00000	---------
الهواء الجاف air (1atm) (عند ضغط واحد جو)	1.00059	3×10^6
المطاط rubber	6.7	12×10^6
النايلون nylon	3.4	14×10^6
الورق paper	3.7	16×10^6
لدائن البوليستيرين Polystyrene plastic	2.56	24×10^6
زجاج البايركس Pyrex glass	5.6	14×10^6
زيت السيليكون Silicon oil	2.5	15×10^6
التفلون Teflon	2.1	60×10^6
الماء النقي pure water 20^0C	80	----------
السترونيوم Strontium	300	8×10^6
المايكا Mica	3---6	$(150 - 220) \times 10^6$

5-1 العوامل المؤثرة في مقدار سعة المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين

قد تتساءل، ما العوامل التي تعتمد عليها سعة المتسعة؟

إن العوامل التي تعتمد عليها سعة المتسعة (C) ذات الصفيحتين المتوازيتين هي:

1- المساحة السطحية (A) المتقابلة لكل من الصفيحتين. وتتناسب معها طرديا $(C \propto A)$

2- البعد (d) بين الصفيحتين. وتتناسب معه عكسياً $(C \propto \frac{1}{d})$

3- نوع الوسط العازل بين الصفيحتين فإذا كان الفراغ او الهواء عازلاً بين الصفيحتين فان سعة المتسعة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$C = \frac{\epsilon_o A}{d}$$

إذ إن (ϵ_o) يمثل ثابت التناسب يسمى سماحية الفراغ.

وفي حالة وجود مادة عازلة كهربائياً بين الصفيحتين بدلاً من الفراغ أو الهواء ثابت عزلها k وهو السماحية النسبية للمادة ويسمى ثابت العزل الكهربائي وهو عدد مجرد من الوحدات، وعندئذ تعطى سعة المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين في حالة وجود مادة عازلة كهربائيا بين صفيحتيها بدلا من الفراغ او الهواء بالعلاقة التالية:

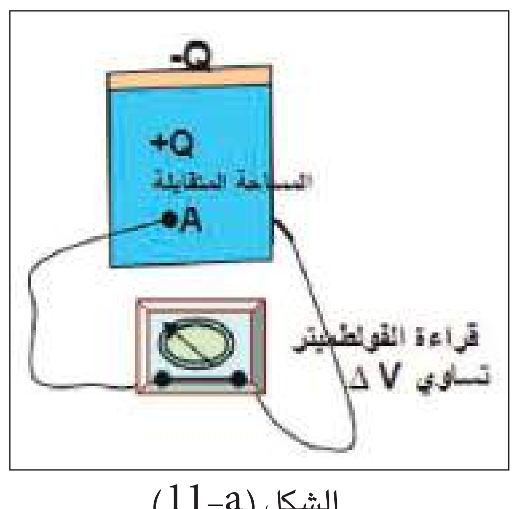
$$C_k = k\frac{\epsilon_0 A}{d}$$

فتكون

$$C_k = k\,C$$

ونبين الآن كيف يتغير مقدار سعة المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين عمليا مع تغير كل من العوامل الآتية:

a المساحة السطحية (A) المتقابلة للصفيحتين:

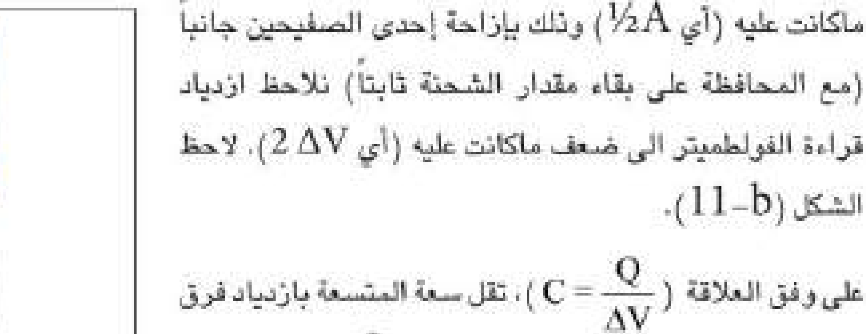


الشكل (11-a)

الشكل (11-a) يوضح متسعة مشحونة بشحنة (Q) ذات مقدار معين مفصولة عن مصدر الفولطية ومربوطة بين طرفي فولطميتر لقياس فرق الجهد بين صفيحتيها. فعندما تكون المساحة السطحية المتقابلة لصفيحتي المتسعة تساوي(A) تكون قراءة الفولطميترعند تدريجة معينة، فيكون فرق الجهد بين الصفيحتين يساوي (ΔV).

وبتقليل المساحة السطحية المتقابلة للصفيحتين إلى نصف

ماكانت عليه (أي $\frac{1}{2}A$) وذلك بإزاحة إحدى الصفيحين جانباً (مع المحافظة على بقاء مقدار الشحنة ثابتاً) نلاحظ ازدياد قراءة الفولطميتر الى ضعف ماكانت عليه (أي $2\Delta V$). لاحظ الشكل (11-b).

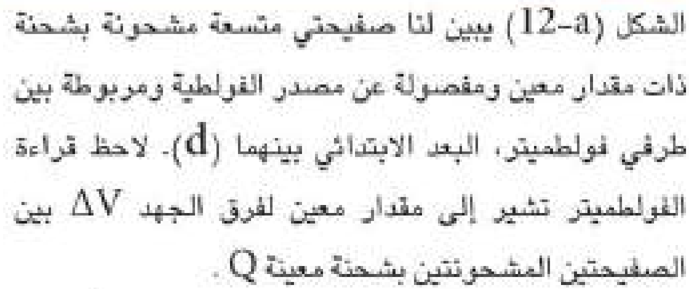


الشكل (11-b)

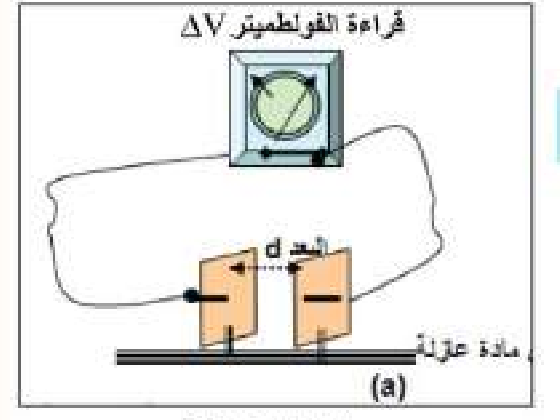
على وفق العلاقة ($C = \frac{Q}{\Delta V}$)، تقل سعة المتسعة بازدياد فرق الجهد بين صفيحتيها بثبوت مقدار الشحنة Q.

نستنتج من ذلك أن سعة المتسعة تقل بنقصان المساحة المتقابلة للصفيحتين والعكس صحيح. $(C \propto A)$

أي إن: السعة C لمتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين تتناسب طرديا مع المساحة A المتقابلة للصفيحتين.



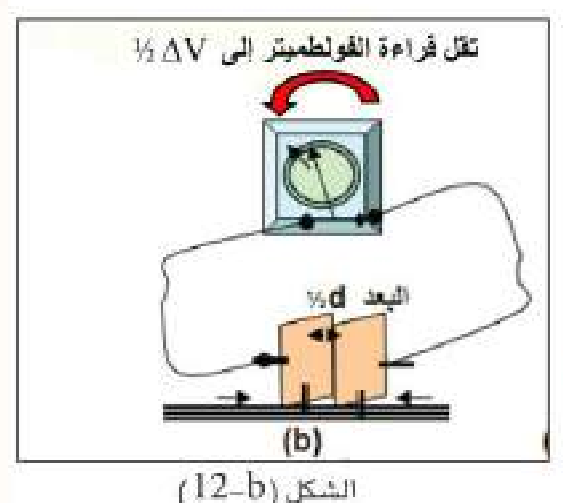
b البعد بين الصفيحتين المتوازيتين (d):



الشكل (12-a)

الشكل (12-a) يبين لنا صفيحتي متسعة مشحونة بشحنة ذات مقدار معين ومفصولة عن مصدر الفولطية ومربوطة بين طرفي فولطميتر، البعد الابتدائي بينهما (d). لاحظ قراءة الفولطميتر تشير إلى مقدار معين لفرق الجهد ΔV بين الصفيحتين المشحونتين بشحنة معينة Q .

وعند تقريب الصفيحتين من بعضهما الى البعد ($\frac{1}{2}d$) (مع المحافظة على بقاء مقدار الشحنة ثابتا)، نلاحظ أن قراءة الفولطميتر تقل إلى نصف ماكانت عليه (أي $\frac{1}{2}\Delta V$). لاحظ الشكل (12-b).



الشكل (12-b)

على وفق العلاقة: $C = \frac{Q}{\Delta V}$ فان نقصان مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة يعني ازدياد مقدار سعة المتسعة (بثبوت مقدار الشحنة). نستنتج من ذلك ان سعة المتسعة تزداد بنقصان البعد (d) بين الصفيحتين والعكس صحيح.

$$\left(C \propto \frac{1}{d}\right)$$



تعلم

تلجأ بعض المصانع إلى عدة طرق لغرض زيادة مقدار سعة المتسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين، وذلك بالتحكم في العوامل الثلاثة المؤثرة في مقدار السعة (المساحة السطحية للصفيحتين، البعد بين الصفيحتين، العازل الكهربائي):

فتصنع الصفيحتان بشكل شرائح معدنية رقيقة جدا واسعة المساحة، توضع بينهما مادة عازلة تمتلك ثابت عزل كهربائي كبيرالمقدار وبشكل أشرطة رقيقة جدا، ثم تلف على بعضها بشكل إسطواني.

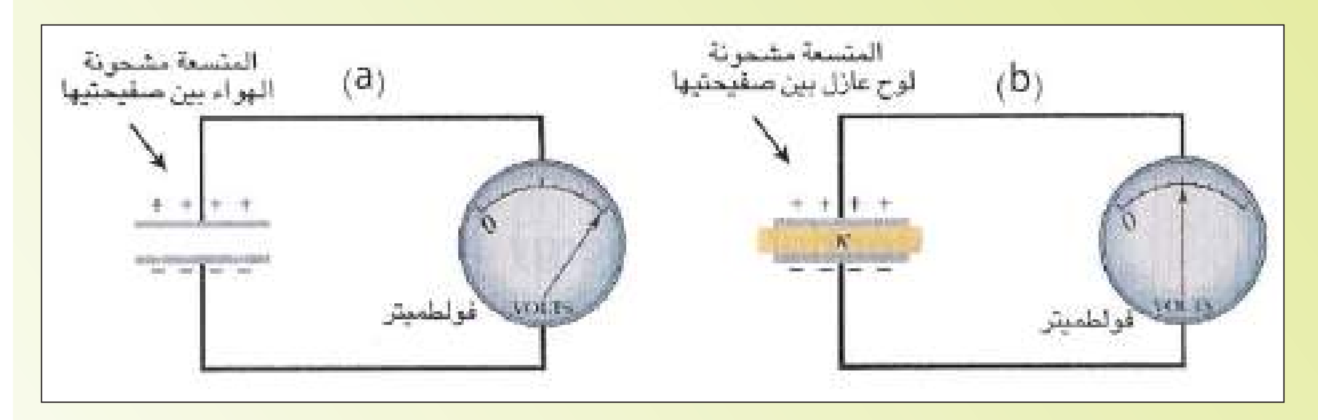
لاحظ الشكل (13).

الشكل (13)

مثال (1)

متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها (10pF) شحنت بوساطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها (12V)، فإذا فصلت المتسعة عن البطارية ثم ادخل بين صفيحتيها لوح من مادة عازلة كهربائيا ثابت عزلها (6) يملأ الحيز بينهما. لاحظ الشكل (14) ما مقدار:

1- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة.
2- سعة المتسعة بوجود العازل الكهربائي.
3- فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل.



الشكل (14)

الحل

1- لحساب مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة لدينا العلاقة: $Q = C \times \Delta V$

$$Q = 10 \times 10^{-12} \times 12 = 120 \times 10^{-12}\ \text{coulomb}$$

2- لحساب سعة المتسعة بوجود العازل: $C_k = k\,C$

فتكون: $C_k = 6 \times 10 \times 10^{-12}\ F = 60 \times 10^{-12} F$

3- لحساب فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل:

$$\Delta V_k = Q / C_k = 120 \times 10^{-12} / 60 \times 10^{-12} = 2\ V$$

او يحسب من :

$$\Delta V_k = \frac{\Delta V}{k} = \frac{12}{6} = 2V$$

من الجدير بالانتباه: إن فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد إدخال العازل يقل بالنسبة (k) في الحالة التي تكون فيها المتسعة مفصولة عن البطارية لاحظ الشكل (14- a , b)

بما أن المتسعة فصلت عن البطارية ثم أدخل العازل فإن مقدار الشحنة المختزنة فيها يبقى ثابتا فتكون:

$$Q_k = Q = 120 \times 10^{-12}\ \text{coulomb}$$

فكر ؟

يقول صديقك إن المتسعة المشحونة تختزن شحنة مقدارها يساوي كذا ، وأنت تقول إن المتسعة المشحونة تكون صافي شحنتها الكلية تساوي صفرا.

ومدرسك يقول إن كلا القولين صحيح ! وضح كيف يكون ذلك؟

مثال (2)

متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين، البعد بين صفيحتيها $(0.5\,cm)$ وكل من صفيحتيها مربعة الشكل طول ضلع كل منها $(10cm)$ ويفصل بينهما الفراغ (علما ان سماحية الفراغ $\epsilon_o = 8.85\times10^{-12}\, C^2/N.m^2$).

ما مقدار:

1- سعة المتسعة.

2- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها بعد تسليط فرق جهد $(10V)$ بينهما.

الحل

1- لدينا العلاقة : $C = \frac{\epsilon_o A}{d}$

وبما أن كل من الصفيحتين مربعة الشكل فتكون المساحة $A = (0.1)^2 = 1\times 10^{-2} m^2$

والبعد بين الصفيحتين $d = 0.5cm = 5\times10^{-3} m$

نعوض ذلك في العلاقة المذكورة آنفاً: $C = 8.85\times10^{-12} \times \frac{1\times10^{-2}}{5\times10^{-3}}$

أي إن مقدار سعة المتسعة هو $C = 1.77\times10^{-11} F = 17.7\times10^{-12} F = 17.7\ pF$

2- لحساب مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها نطبق العلاقة: $Q = C\,\Delta V$

$Q = 17.7\times10^{-12}\times 10 = 177\times 10^{-12}$ coulomb

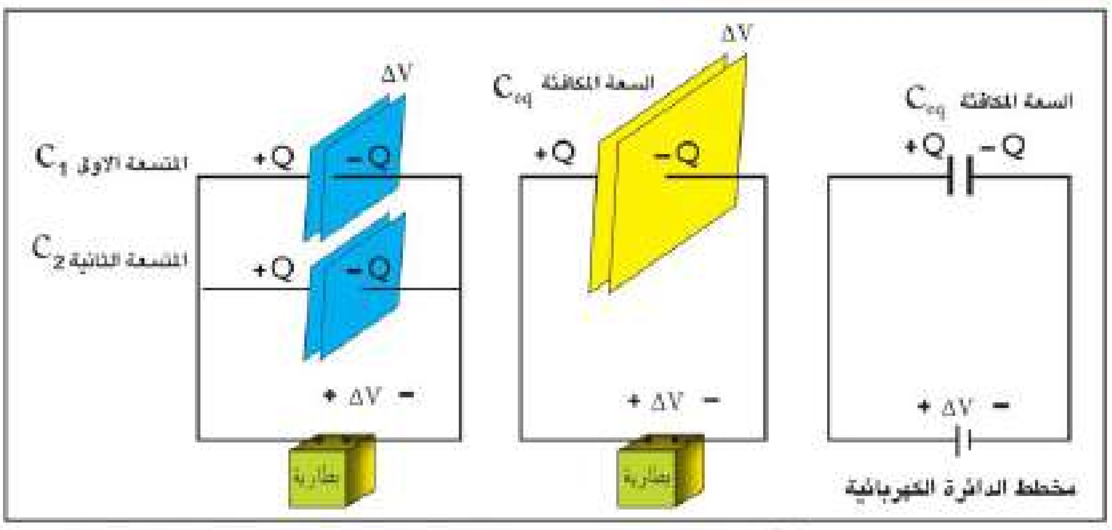
6-1 ربط المتسعات (توازي ، توالي)

لعلك تتسائل، ما الغرض من ربط المتسعات على التوازي او على التوالي؟

توجد طريقتان لربط المتسعات، إحداهما لزيادة السعة المكافئة للمجموعة، ولأجل ذلك تربط المتسعات على التوازي مع بعضهما فتزداد بذلك المساحة السطحية المتقابلة لصفيحتي المتسعة المكافئة للمجموعة المتوازية. والطريقة الاخرى لتقليل السعة المكافئة ليكون بإمكاننا وضع فرق جهد كهربائي بمقدار أكبر على طرفي المجموعة قد لاتتحمله أي متسعة من المجموعة لو ربطت منفردة، ولأجل ذلك تربط المتسعات على التوالي مع بعضهما.



ربط المتسعات على التوازي:



الشكل (15) تزداد المساحة السطحية لصفيحتي المتسعة المكافئة لربط التوازي (بثبوت البعد بين الصفحتين ونوع العازل) فتزداد السعة المكافئة.

الشكل (15) يوضح طريقة عملية لربط متسعتين (C_2، C_1) على التوازي وربط طرفي مجموعتهما بين قطبي بطارية، لذا فإن كلاهما تكونان بفرق جهد متساوٍ أي إن:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_{battery} = \Delta V$$

وبما إن :($Q = C\,\Delta V$) فتكون:

$$Q_1 = C_1 \quad \Delta V$$

و

$$Q_2 = C_2 \quad \Delta V$$

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V$$

إذ إن : Q_{total} تمثل الشحنة الكلية للمجموعة.

C_{eq} تمثل السعة المكافئة والتي تعمل عمل المجموعة المتوازية.

وعندئذ يمكننا اشتقاق السعة المكافئة (C_{eq}) لمجموعة المتسعات المربوطة على التوازي:

بما أن مقدار الشحنة الكلية لمجموعة المتسعتين المربوطتين على التوازي (Q_{total}) يساوي المجموع الجبري لمقداري الشحنة على أي من صفيحتي كل منهما، فيكون :

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2$$

$$C_{eq}\,\Delta V = C_1\,\Delta V + C_2\,\Delta V$$

$$C_{eq}\,\Delta V = (C_1 + C_2)\,\Delta V$$

وبقسمة طرفي المعادلة على ΔV

نحصل على:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

ويمكن تعميم هذه النتيجة على أي عدد من المتسعات (مثلا n من المتسعات) مربوطة مع بعضها على التوازي فإن السعة المكافئة للمجموعة تكون :

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots\ldots C_n$$

نستنتج من المعادلة المذكورة انفاً:

يزداد مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوازي. وتفسير ذلك :

أن ربط المتسعات على التوازي يعني زيادة المساحة السطحية المتقابلة لصفيحتي المتسعة المكافئة، فيزداد بذلك مقدار سعة المتسعة المكافئة ويكون أكبر من أكبر سعة في المجموعة، على فرض ثبوت البعد بين الصفيحتين ونوع العازل.

مثال (3)

أربع متسعات سعاتها حسب الترتيب ($4\mu F$ ، $8\mu F$ ،$12\mu F$ ، $6\mu F$) مربوطة مع بعضها على التوازي، ربطت المجموعة بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($12V$). احسب مقدار:

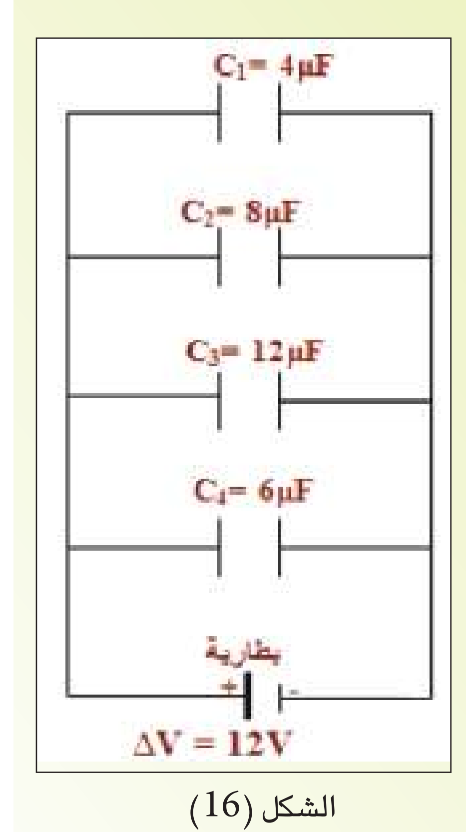
1- السعة المكافئة للمجموعة.

2- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة.

3- الشحنة الكلية المختزنة في المجموعة.

الحل

نرسم مخططاً لدائرة تبين ربط المتسعات على التوازي كما في الشكل (16).



الشكل (16)

1- نحسب السعة المكافئة للمجموعة على وفق العلاقة الآتية:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$C_{eq} = 4 + 8 + 12 + 6 = 30\mu F$$

2- بما أن المتسعات مربوطة مع بعضها على التوازي فيكون فرق الجهد بين صفيحتي كل منها متساو، ويساوي فرق الجهد بين قطبي البطارية $12V$.

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = \Delta V_4 = \Delta V$$

فتكون الشحنة المختزنة في المتسعة الأولى :

$$Q_1 = C_1 \times \Delta V = 4 \times 12 = 48\,\mu\,\text{coulomb}$$

والشحنة المختزنة في المتسعة الثانية :

$$Q_2 = C_2 \times \Delta V = 8 \times 12 = 96\,\mu\,\text{coulomb}$$

والشحنة المختزنة في المتسعة الثالثة :

$$Q_3 = C_3 \times \Delta V = 12 \times 12 = 144\,\mu\,\text{coulomb}$$

والشحنة المختزنة في المتسعة الرابعة :

$$Q_4 = C_4 \times \Delta V = 6 \times 12 = 72\ \mu\ coulomb$$

3- الشحنة الكلية تحسب على وفق العلاقة التالية:

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V$$

$$Q_{total} = 30 \times 12 = 360\ \mu\ coulomb$$

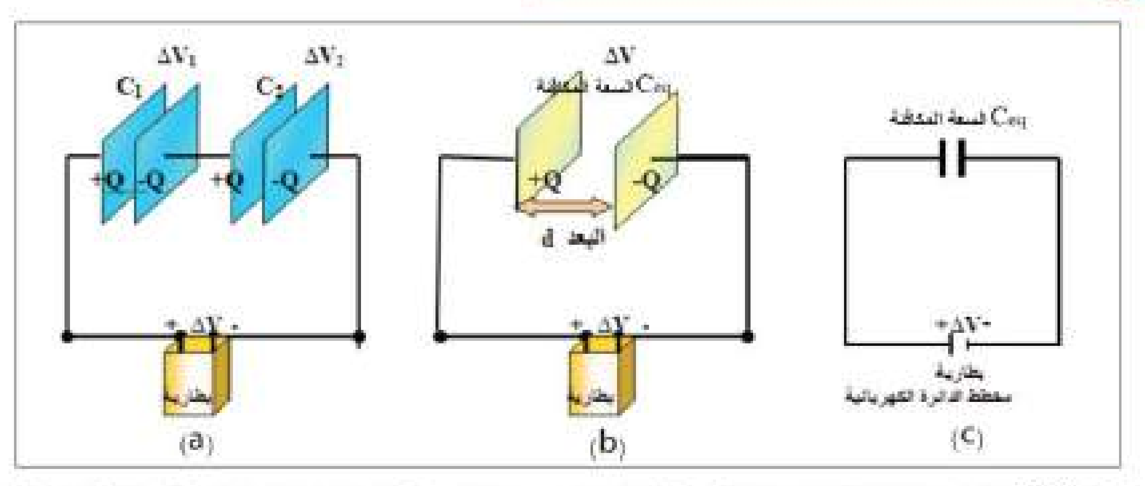
أو تحسب من جمع الشحنات المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة : (جمعاً جبرياً).

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_{total} = 48 + 96 + 144 + 72 = 360\ \mu\ coulomb$$

ومقدار الشحنة الكلية المختزنة في المجموعة

b ربط المتسعات على التوالي:



الشكل (17) يزداد البعد بين صفيحتي المتسعة المكافئة لربط التوالي (بثبوت مساحة الصفيحتين ونوع العزل) فتقل السعة المكافئة.

الشكل (17) يوضح طريقة عملية لربط متسعتين (C_1 , C_2) على التوالي وربط طرفي مجموعتهما بين قطبي بطارية فيكون مقدار الشحنة الكلية (Q_{total}) يساوي مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة أي ان:

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2$$

وتفسير ذلك ان جهد الصفيحتين الوسطيتين متساوٍ، فهما صفيحتان موصولتان مع بعضهما بسلك توصيل، لذا يمكن ان يعدان موصلا واحدا، تظهر عليهما شحنتان متساويتان مقدارا ومختلفتان بالنوع بطريقة الحث، لاحظ الشكل (17-a).

لنتصور الآن أننا أبدلنا مجموعة المتسعتين بمتسعة واحدة تعمل عمل المجموعة، ونطلق على سعة هذه المتسعة

بالسعة المكافئة (C_{eq}) لمجموعة المتسعات المربوطة على التوالي.

وبما ان : $C = \frac{Q}{\Delta V}$ فان :

$$C_1 = \frac{Q}{\Delta V_1}$$

$$C_2 = \frac{Q}{\Delta V_2}$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{\Delta V_{total}}$$

Q_{total} تمثل الشحنة الكلية للمجموعة وتساوي (Q) ، C_{eq} تمثل السعة المكافئة للمجموعة.

وعندئذ يمكننا اشتقاق السعة المكافئة (C_{eq}) لمجموعة المتسعات المربوطة على التوالي.

بما أن مجموعة المتسعات مربوطة بين قطبي البطارية، فيكون فرق الجهد الكلي للمجموعة يساوي مجموع فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة، أي إن :

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = Q\left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right]$$

وبالقسمة على Q نحصل على العلاقة الآتية:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

أو

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

تطبق هذه العلاقة فقط في حالة ربط متسعتين على التوالي وليس اكثر

ويمكن تعميم هذه النتيجة على أي عدد (مثلا n من المتسعات) مربوطة مع بعضها على التوالي فإن مقلوب السعة المكافئة للمجموعة يساوي مجموع مقلوب سعات المتسعات المكونة لها:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots\dots\dots\dots \frac{1}{C_n}$$

نستنتج من ذلك: يقل مقدارالسعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوالي. ويكون أصغر من أصغر سعة أي متسعة في المجموعة.

وتفسير ذلك أن ربط المتسعات على التوالي يعني زيادة البعد بين صفيحتي المتسعة المكافئة، على فرض ثبوت مساحة الصفيحتين ونوع العازل

فكر ؟

ما طريقة ربط مجموعة من المتسعات ؟:

a– لكي نحصل على سعة مكافئة كبيرة المقدار يمكن بوساطتها تخزين شحنة كهربائية كبيرة المقدار وبفرق جهد واطئ، إذ لايمكن الحصول على ذلك باستعمال متسعة واحدة.

b– لكي يكون بالإمكان وضع فرق جهد كبير على طرفي المجموعة قد لاتتحمله المتسعة المنفردة.

مثال (4)

ثلاث متسعات من ذوات الصفيحتين المتوازيتين سعاتها حسب الترتيب (6 μ F، 9μ F ، 18μ F) مربوطة مع بعضها على التوالي ، شحنت المجموعة بشحنة كلية (300μ coulomb). لاحظ الشكل (18)

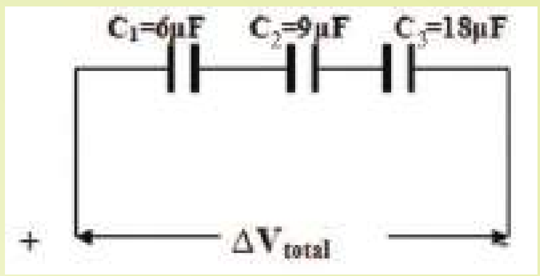
واحسب مقدار:

1- السعة المكافئة للمجموعة.

2- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة.

3- فرق الجهد الكلي بين طرفي المجموعة.

4- فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة.



شكل (18)

الحل

1- بما أن مجموعة المتسعات مربوطة مع بعضها على التوالي فإن سعتها المكافئة تحسب من العلاقة الآتية:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9} + \frac{1}{18} = \frac{6}{18} = \frac{1}{3}$$

$C_{eq} = 3\ \mu F$ مقدار السعة المكافئة

2- بما أن المتسعات مربوطة على التوالي فيكون مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة متساوٍ، ويساوي مقدار الشحنة الكلية للمجموعة:

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = 300\ \mu\ coulomb$$

3- نحسب فرق الجهد الكلي بين طرفي المجموعة:

$$\Delta V_{total} = Q_{total} / C_{eq}$$

$$\Delta V_{total} = 300 / 3 = 100V$$

4- نحسب فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة:

$$\Delta V_1 = Q / C_1 = 300 / 6 = 50\ V$$

$$\Delta V_2 = Q / C_2 = 300 / 9 = (100 / 3)\ V$$

$$\Delta V_3 = Q / C_3 = 300 / 18 = (50 / 3)\ V$$

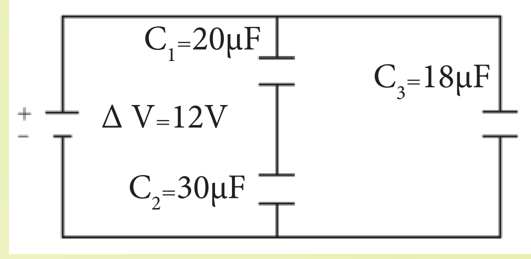
مثال (5)

من المعلومات المثبتة في الشكل (19-a)، احسب مقدار:

1- السعة المكافئة للمجموعة.

2- الشحنة الكلية المختزنة في المجموعة.

3- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة



شكل (19-a)

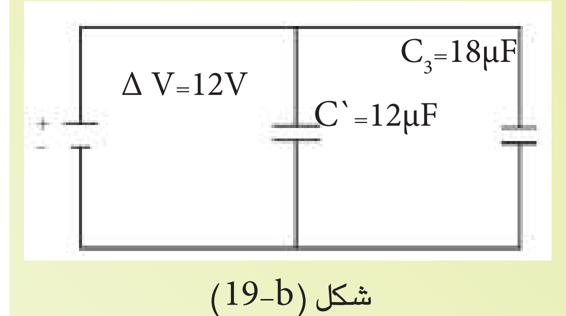
الحل

1- نحسب السعة `C المكافئة للمتسعتين (C_1و C_2) المربوطتين على التوالي مع بعضهما:

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$$

فيكون مقدار السعة المكافئة لمجموعة التوالي $C` = 12\ \mu F$



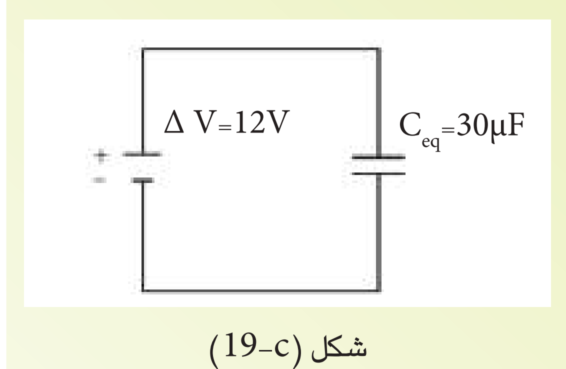
شكل (19-b)

ثم نحسب السعةالمكافئة الكلية (C_{eq}) لمجموعة التوازي (C_3 ، `C) في الشكل (19-b)

وهي السعة الكلية للمجموعة: (C_{eq}) لاحظ الشكل (19-c)

$$C_{eq} = C` + C_3$$

$$C_{eq} = 12 + 18 = 30\ \mu F$$



شكل (19-c)

2- لحساب الشحنة الكلية للمجموعة نطبق العلاقة التالية:

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V_{total}$$

$$Q_{total} = 30 \times 12 = 360\mu\ coulomb$$

3- في الشكل (19-b) نحسب فرق الجهد لمجموعة التوازي (C_3 ، `C):

$\Delta V_{total} = \Delta V` = \Delta V_3 = 12V$ ثم نحسب شحنة كل منهما:

$$Q` = C` \times \Delta V = 12 \times 12 = 144\mu\ coulomb = Q_1 = Q_2$$

$$Q_3 = C_3 \times \Delta V = 18 \times 12 = 216\ \mu\ coulomb$$

فكر ؟

إذا طلب منك ربط تسع متسعات متماثلة سعة كل منها (10μF) جميعها مع بعض للحصول على سعة مكافئة مقدارها (10μF). وضح طريقة ربط هذه المجموعة من المتسعات وارسم مخططا تبين فيه ذلك.

7-1 الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة

عند نقل كمية من الشحنات الكهربائية من موقع إلى أخر بينهما فرق جهد يتحتم انجاز شغل على تلك الشحنات، ويختزن هذا الشغل بشكل طاقة كامنة كهربائية ($PE_{electric}$) في المجال الكهربائي بين الموقعين.

وإذا افترضنا وجود متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين غير مشحونة، فإن مقدار الشحنة على أي من صفيحتيها صفرا ($Q=0$ coulomb) وهذا يعني أن مقدار فرق الجهد ΔV بين الصفيحتين يساوي صفرا للمتسعة غير المشحونة.

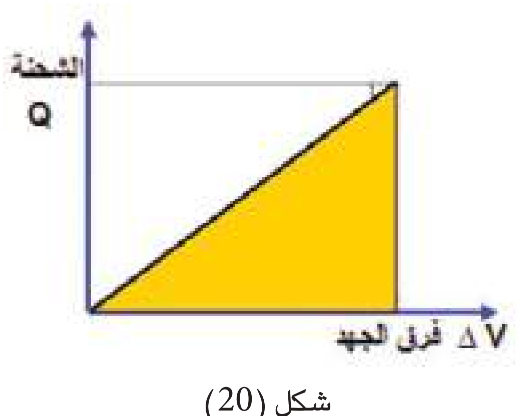
وبعد أن تشحن المتسعة يتولد فرق جهد كهربائي (ΔV) بين الصفيحتين، وبالاستمرار في شحن المتسعة يزداد مقدار فرق الجهد الكهربائي بين الصفيحتين.

يمكن حساب مقدار الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة وذلك برسم مخطط بياني بين مقدار الشحنة Q المختزنة في أي من الصفيحتين و فرق الجهد الكهربائي ΔV بينهما، لاحظ الشكل (20) من خلال حساب مساحة المثلث (المنطقة المظللة تحت المنحني) والتي تساوي:

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} \Delta V \times Q$$

إذ إن: [القاعدة(تمثل ΔV) و الارتفاع (يمثل مقدار الشحنة Q)]

وعند التعويض عن السعة الكهربائية للمتسعة ($C = Q / \Delta V$) في العلاقة المذكورة آنفا فان الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة ($PE_{electric}$) يمكن ان تكتب بالصيغة الآتية:



شكل (20)

اما:

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} C. (\Delta V)^2$$

او:

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$

مثال (6)

ما مقدار الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي لمتسعة سعتها $(2\mu F)$ إذا شحنت لفرق جهد كهربائي $(5000V)$، وما مقدار القدرة التي نحصل عليها عند تفريغها بزمن $(10\mu s)$؟

الحل

نطبق العلاقة الآتية:

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} C.(\Delta V)^2$$

$$PE_{electric} = \tfrac{1}{2} (2\times10^{-6}) \times (5000)^2 = 25\ J$$

القدرة

$$Power\ (P) = \frac{PE_{electric}}{time\ (t)} = \frac{25}{10\times10^{-6}} = 2.5\times10^6\ Watt$$

هل تعلم

* إن الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة في المثال السابق هي طاقة كبيرة، تكافئ الطاقة المختزنة في جسم كتلته $(1kg)$ يسقط من ارتفاع $(2.5m)$.
$(PE = mgh = 1\times10\times2.5 = 25J)$.

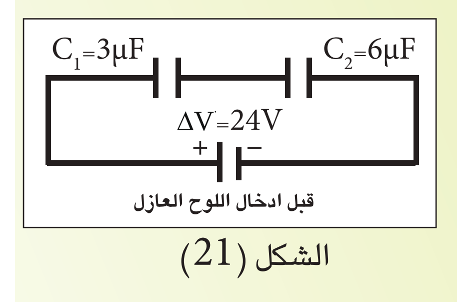
* مثل هذه المتسعة تستعمل في أجهزة توليد الليزرات ذوات القدرة العالية.

مثال (7)

متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين $(C_1=3\mu F، C_2=6\mu F)$ مربوطتان مع بعضهما على التوالي. ربطت مجموعتهما بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها $(24V)$، وكان الهواء عازلا بين صفيحتي كل منهما الشكل (21) إذا أدخل بين صفيحتي كل منهما لوح من مادة عازلة ثابت عزلها (2) يملأ الحيز بينهما (ومازالت المجموعة متصلة بالبطارية الشكل (22) فما مقدارفرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة، والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل متسعة في الحالتين:

1- قبل إدخال العازل.

2- بعد إدخال العازل.



الشكل (21)

$C_{k1}=6\mu F$ $C_{k2}=12\mu F$

$\Delta V=24V$

+ −

بعد ادخال اللوح العازل بين صفحتي كل منهما

الشكل (22)

الحل

1- قبل ادخال العازل نحسب السعة المكافئة للمجموعة لاحظ الشكل (21):

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

فتكون السعة المكافئة للمجموعة $C_{eq} = 2\,\mu F$

ثم نحسب الشحنة الكلية المختزنة في المجموعة:

$$Q_{total} = C_{eq} \times \Delta V_{total}$$

$$Q_{total} = 2 \times 24 = 48\,\mu\, coulomb$$

وبما أن الربط على التوالي، تكون الشحنات المختزنة في أي من صفيحتي كل منهما متساوية المقدار.أي إن:

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = Q = 48\,\mu\, coulomb$$

فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الاولى: $\Delta V_1 = Q / C_1 = 48 / 3 = 16V$

فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الثانية: $\Delta V_2 = Q / C_2 = 48 / 6 = 8V$

لحساب الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفحتي كل متسعة نطبق العلاقة الآتية:

$$PE_{(1)\,electric} = ½\, C_1 \times (\Delta V_1)^2$$

$$PE_{(1)\,electric} = ½ \times 3 \times 10^{-6} \times (16)^2 = 384 \times 10^{-6}\, J$$

$$PE_{(2)\,electric} = ½\, C_2 \times (\Delta V_2)^2$$

$$PE_{(2)\,electric} = ½ \times 6 \times 10^{-6} \times (8)^2 = 192 \times 10^{-6}\, J$$

2- بعد إدخال العازل نحسب السعة المكافئة للمجموعة لاحظ الشكل (22):

بما أن $C_k = k\,C$

$$C_{k1} = 2 \times 3 = 6\,\mu F \text{،} \quad C_{k2} = 2 \times 6 = 12\,\mu F$$

ثم نحسب السعة المكافئة للمتسعتين المربوطتين على التوالي:

$$\frac{1}{C_{k_{eq}}} = \frac{1}{C_{k1}} + \frac{1}{C_{k2}}$$

$$\frac{1}{C_{keq}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

مقدار السعة المكافئة للمجموعة $\boxed{C_{k\ eq} = 4\ \mu F}$

بما ان اللوح العازل أدخل والمجموعة مازالت مربوطة بين قطبي البطارية، فإن فرق الجهد الكهربائي الكلي للمجموعة يبقى ثابتا (24V). وعندئذ نحسب الشحنة الكلية للمجموعة من العلاقة الآتية:

$$Q_{k\ (total)} = C_{keq} \times \Delta V$$

$$Q_{k\ (total)} = 4 \times 24 = 96\ \mu\ coulomb$$

وفي حالة الربط على التوالي تكون مقادير الشحنات المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة متساوية.

أي إن:

$$Q_{k\ (total)} = Q_{1k} = Q_{2k} = 96\ \mu\ coulomb$$

فيكون:

فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الاولى : $\Delta V_{k1} = Q_{k\ total} / C_{1k} = 96 / 6 = 16V$

فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي المتسعة الثانية: $\Delta V_{k2} = Q_{k\ total} / C_{2k} = 96 / 12 = 8V$

ثم نحسب الطاقة الكهربائية المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل متسعة بتطبيق العلاقة الآتية:

$$PE\ (1)_{\ electric} = ½\ C_{1k} \times (\Delta V_1)^2$$

$$PE\ (1)_{\ electric} = ½ \times 6 \times 10^{-6} \times (16)^2 = 768 \times 10^{-6}\ J$$

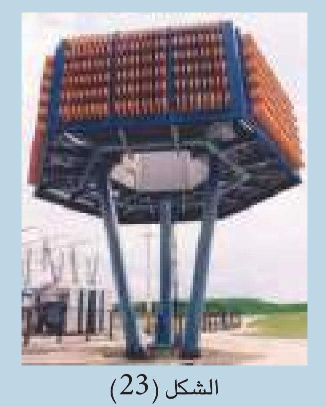
$$PE\ (2)_{\ electric} = ½\ C_{2k} \times (\Delta V_2)^2$$

$$PE\ (2)_{\ electric} = ½ \times 12 \times 10^{-6} \times (8)^2 = 384 \times 10^{-6}\ J$$

هل تعلم

يوجد مستودع كبير للمتسعات (يسمى مصرف المتسعات) قرب مدينة شيكاغو، لاحظ الشكل (23)، فهو يخزن مقادير كبيرة جدا من الطاقة الكهربائية تستثمر في معجل الجسيمات في مختبر فيرمي، إذ يتطلب الجهاز تزويده بكمية هائلة من الطاقة الكهربائية وباندفاع قوي جدا ومفاجيء. ويتم ذلك بتفريغ المتسعات الموضوعة في ذلك المستودع من شحنتها بوقت قصير جدا.

وهذا يماثل عملية تجميع المياه في الخزانات الموضوعة على سطوح البنايات لغرض تفريغها بكمية كبيرة وبوقت قصير جداً عند استعمالها من قبل رجال الاطفاء.



الشكل (23)

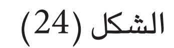
8-1 بعض انواع المتسعات

هنالك العديد من المتسعات المتوافرة صناعياً وتكون مختلفة الانواع والاحجام ومصنوعة من مواد مختلفة لكي تكون ملائمة لمختلف التطبيقات العملية. منها ماهو متغير السعة ومنها ثابت السعة.

وقيم سعاتها تتراوح من (1pF الى أكثر من 1 F) ومن أمثلتها:

a- المتسعة ذات الورق المشمع:

يستعمل هذا النوع من المتسعات في العديد من الاجهزة الكهربائية والالكترونية، تمتاز بصغر حجمها، وكبر مساحة الصفائح. لاحظ الشكل (24).

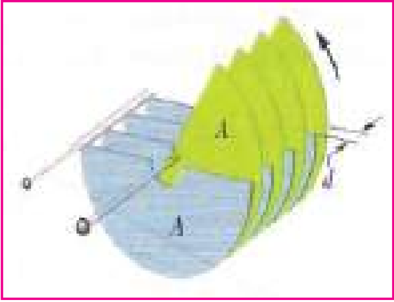


الشكل (24)

b- المتسعة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوّارة:

تتالف من مجموعتين من الصفائح بشكل أنصاف أقراص أحدى المجموعتين ثابتة والأخرى يمكنها الدوران حول محور ثابت، تربط المجموعتان بين قطبي بطارية عند شحنها، لذا تكون هذه المتسعة مكافئة لمجموعة من المتسعات المتوازية الربط. فتتغير سعة هذه المتسعة في أثناء الدوران نتيجة لتغير المساحة السطحية المتقابلة للصفائح ويفصل بين كل صفيحتين الهواء كعازل كهربائي الشكل (25) تستعمل في الغالب في دائرة التنغيم في اللاسلكي والمذياع سابقاً.





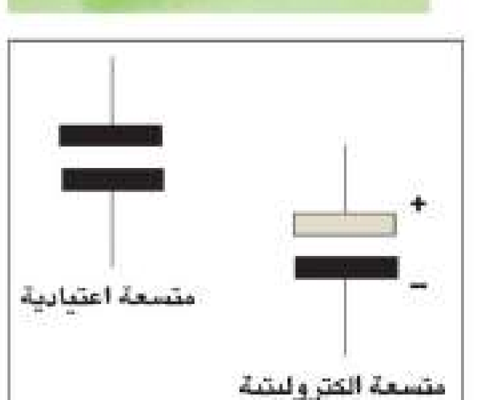
الشكل (25)

C- المتسعة الالكتروليتية:

تتألف المتسعة الالكتروليتية من صفيحتين إحدهما من الالمنيوم والاخرى عجينة الكتروليتية، وتتولد المادة العزلة نتيجة التفاعل الكيميائي بين الالمنيوم والالكتروليت وتلف الصفائح بشكل اسطواني، لاحظ الشكل (26).

تمتاز بأنها تتحمل فرق جهد كهربائي عالٍ، وتوضع علامة على طرفيها للدلالة على قطبيتها، لغرض ربطها في الدائرة الكهربائية بقطبية صحيحة.





الشكل (26)

جدول يوضح قيم بعض المتسعات المستعملة في التطبيقات العملية ومقدار أقصى فرق جهد بين صفيحتيها يمكن أن تتحمله المتسعة قبل حدوث الانهيار الكهربائي للعازل بينهما:

نوع المتسعة	مدى سعتها	مدى فرق جهد يمكن ان تعمل فيه المتسعة
mica المايكا	1pF – 10nF	100V - 600V
ceramic السيراميك	10pF – 1μF	30V – 50 kV
polystyrene بوليستيرين	10pF – 2.7μF	100V - 600V
polycarbonate بوليكاربونيت	100pF – 30μF	50V - 800V
tantalum تانتالوم	100nF – 500μF	6V - 100V
electrolyte الكتروليت(المنيوم)	100nF – 2F	3V - 600V

الجدول (للاطلاع)

9-1 دائرة تيار مستمر تتالف من مقاومة ومتسعة (RC- circuit)

لقد درست سابقا الدوائر الكهربائية للتيار المستمر التي تحتوي مصدرا يجهزها بالفولطية (بطارية مثلا) ومقاومة. يكون مقدار التيار في هذه الدوائر ثابتا (لايتغير مع الزمن) لمدة زمنية معينة.

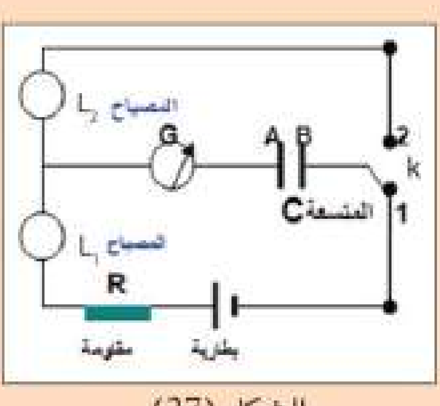
لنفترض الآن دائرة تيار مستمر تحتوي متسعة فضلاً عن وجود البطارية والمقاومة، تسمى مثل هذه الدائرة بدائرة المتسعة والمقاومة (RC- circuit) يكون تيار هذه الدائرة متغيراً مع الزمن. وأبسط هذه الدوائر العملية هي دوائر شحن وتفريغ المتسعة، ولفهم كيف يتم شحن وتفريغ المتسعة علينا إجراء النشاط الآتي:

نشاط

أولاً: كيفية شحن المتسعة

أدوات النشاط: بطارية فولطيتها مناسبة ، كلفانوميتر (G) صفره في وسط التدريجة ، متسعة (C) ذات الصفيحتين المتوازيتين (A و B)، مفتاح مزدوج (k)، مقاومة ثابتة R، مصباحان متماثلان (L_1 و L_2)، أسلاك توصيل.

خطوات النشاط:



الشكل (27)

نربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (27) بحيث نجعل المفتاح (K) في الموقع (1) ماذا يعني ذلك؟ يعني ربط صفيحتي المتسعة بين قطبي البطارية، لغرض شحنها، لذا نلاحظ انحراف مؤشر الكلفانوميتر (G) لحظيا على أحد جانبي صفر التدريجة (مثلا نحو اليمين) ثم يعود بسرعة إلى الصفر ونلاحظ في الوقت نفسه توهج المصباح L_1 بضوء ساطع لبرهة من الزمن ثم ينطفئ، وكأن البطارية غير مربوطة في الدائرة.

هل يمكننا أن نتساءل الآن عن سبب رجوع مؤشر الكلفانوميتر الى الصفر؟

ان جواب ذلك هو بعد اكتمال عملية شحن المتسعة يتساوى جهد كل صفيحة مع قطب البطارية المتصل بها، فيمكننا القول إن المتسعة صارت مشحونة بكامل شحنتها، وعندها يكون:

فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة يساوي فرق الجهد بين قطبي البطارية، وفي هذه الحالة لايتوافر فرق الجهد على طرفي المقاومة في الدائرة مما يجعل التيار في الدائرة يساوي صفرا.

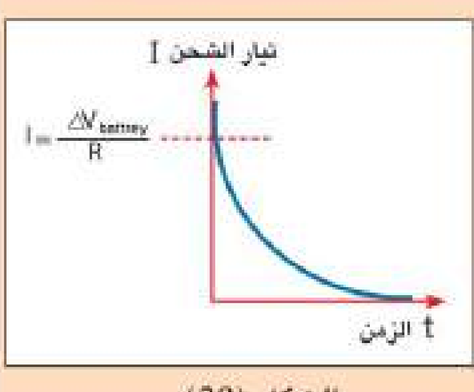
لذا فإن وجود المتسعة في دائرة التيار المستمر يعد مفتاحا مفتوحا بعد ان تنشحن.

وبسبب كون صفيحتي المتسعة معزولتين عن بعضهما، فالالكترونات تتراكم على الصفيحة B المربوطة بالقطب السالب للبطارية، لذا تُشحن بالشحنة السالبة (Q-) في حين تُشحن الصفيحة A المربوطة بالقطب الموجب بالشحنة الموجبة (Q+) وبالمقدار نفسه بطريقة الحث.

فكر

المتسعة الموضوعة في دائرة التيار المستمر تُعد كمفتاح مفتوح؟

المخطط البياني الموضح بالشكل (28)، يبين العلاقة بين تيار شحن المتسعة والزمن المستغرق لشحن المتسعة



الشكل (28)

وقد وجد عملياً أن تيار الشحن (I) يبدأ بمقدار كبير لحظة إغلاق دائرة الشحن ومقداره يساوي $I = \frac{\Delta V_{battery}}{R}$.

ويتناقص مقداره إلى الصفر بسرعة عند اكتمال شحنها. الشكل (28)،

إذا ان :

I: تيار الشحن، R: المقاومة في الدائرة، ($\Delta V_{battery}$): فرق جهد البطارية.

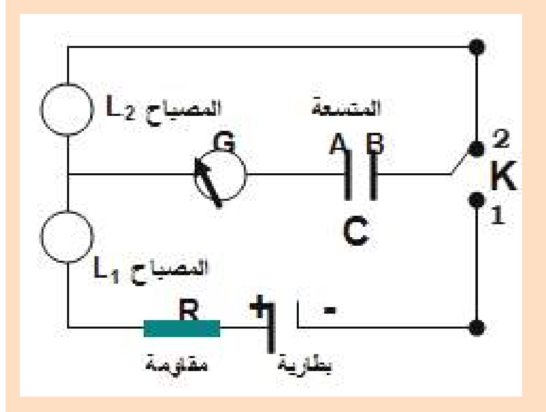
ثانياً: كيفية تفريغ المتسعة

خطوات النشاط:

نستعمل الدائرة الكهربائية المربوطة في النشاط السابق لاحظ الشكل (29) ولكن نجعل المفتاح (K) في الموقع (2).

ماذا يعني هذا الترتيب للمفتاح؟

يعني ربط صفيحتي المتسعة ببعضهما بسلك موصل، وبهذا تتم عملية تفريغ المتسعة من شحنتها أي تتعادل شحنة صفيحتيها، لذا نلاحظ انحراف مؤشر الكلفانوميتر (G) لحظيا إلى الجانب الآخر من صفر التدريجة (نحو اليسار) ثم يعود إلى الصفر بسرعة ونلاحظ توهج المصباح L_2 في الوقت نفسه بضوء ساطع للحظة ثم ينطفيء.

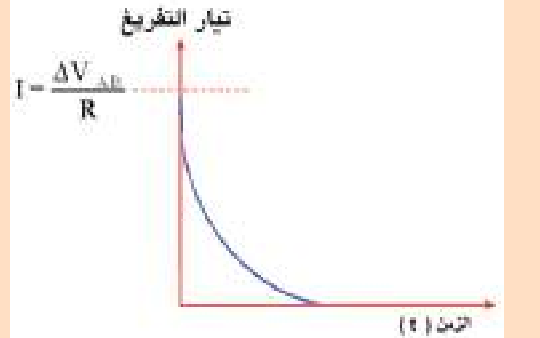


الشكل (29)

نستنتج من النشاط: أن تيارا لحظيا قد انساب في الدائرة الكهربائية يسمى تيار التفريغ ، يتلاشى تيار التفريغ بسرعة (يساوي صفرا) عندما لايتوافر فرق في الجهد بين صفيحتي المتسعة (أي $\Delta V_{AB}=0V$) .

المخطط البياني في الشكل (30) يبين العلاقة بين تيار تفريغ المتسعة والزمن المستغرق لتفريغها:

لقد وجد بالتجربة أن تيار التفريغ يبدأ بمقدار كبير $I = \frac{\Delta V_{AB}}{R}$ لحظة إغلاق الدائرة (لحظة ربط صفيحتي المتسعة ببعضهما بوساطة سلك موصل) ويهبط إلى الصفر بسرعة بعد اتمام علمية التفريغ.



الشكل (30)

تذكر:

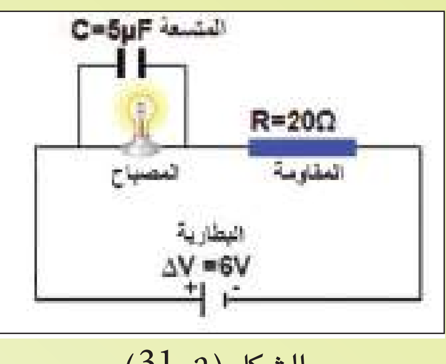
تبقى صفيحتا المتسعة مشحونتين لمدة زمنية معينة مالم يتم وصلهما مع بعض بسلك موصل يؤدي إلى تفريغ المتسعة حالا من جميع شحنتها، فتسمى هذه العملية عندئذ بعملية تفريغ المتسعة، وهي معاكسة لعملية شحن المتسعة.

مثال (8)

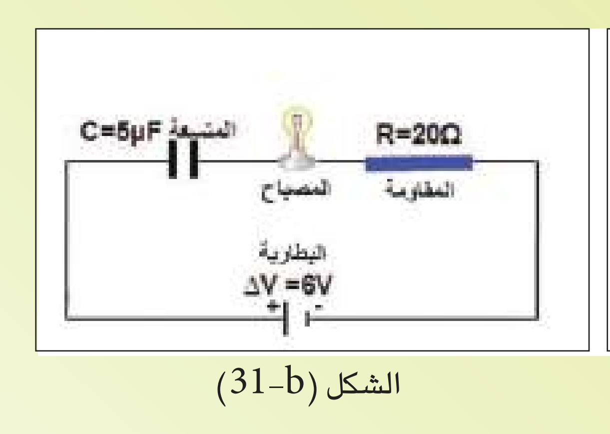
دائرة كهربائية متوالية الربط تحتوي مصباح كهربائي مقاومته$(r = 10\Omega)$ ومقاومة مقدارها $(R= 20\Omega)$، وبطارية مقدار فرق الجهد بين قطبيها $(\Delta V = 6V)$، ربطت في الدائرة متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها$(5\mu F)$. ما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة والطاقة الكهربائية المختزنة في مجالها الكهربائي، لو ربطت المتسعة:

1- على التوازي مع المصباح، لاحظ الشكل (31-a).

2- على التوالي مع المصباح والمقاومة والبطارية في الدائرة نفسها، (بعد فصل المتسعة عن الدائرة الأولى وإفراغها من جميع شحنتها)، لاحظ الشكل (31-b).



الشكل (31-a)



الشكل (31-b)

الحل

الدائرة الأولى : الشكل (31-a) نحسب مقدار التيار في الدائرة :

$$I = \frac{\Delta V}{r+R} = \frac{6}{10+20} = \frac{6}{30}$$

$$I = 0.2A$$

ثم نحسب مقدار فرق الجهد بين طرفي المصباح: $\Delta V = I \times r = 0.2 \times 10 = 2V$

وبما أن المتسعة مربوطة مع المصباح على التوازي، فان:

فرق الجهد بين طرفي المصباح يساوي فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة

فيكون فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة $(\Delta V = 2V)$

نحسب مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة من العلاقة الآتية:

$$Q = C \times \Delta V$$

$$Q = 5\times10^{-6} \times 2 = 10\times10^{-6} = 10\mu \text{ coulomb}$$

ثم نحسب الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي للمتسعة بتطبيق العلاقة الآتية:

$$PE = ½\, C \times (\Delta V)^2$$

$$PE = ½ \times 5 \times10^{-6} \times (2)^2 = 10\times10^{-6}\, J$$

الدائرة الثانية الشكل (31-b):

بما ان المتسعة مربوطة على التوالي في دائرة التيار المستمر فإنها تقطع التيار في الدائرة ($I = o$) بعد ان تُشحن بكامل شحنتها (المتسعة تعمل عمل مفتاح مفتوح في دائرة التيار المستمر).

لذا يكون فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة يساوي فرق الجهد بين قطبي البطارية وعندئذ تعد هذه الدائرة، دائرة مفتوحة، فيكون فرق جهد المتسعة: ($\Delta V = 6V$) وعندئذ تكون الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها:

$$Q = C \times \Delta V$$

$$Q = 5 \times 10^{-6} \times 6 = 30\mu \text{ coulomb}$$

ولحساب الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة تطبق العلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} C \times (\Delta V)^2$$

$$PE = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (6)^2 = 90 \times 10^{-6} J$$

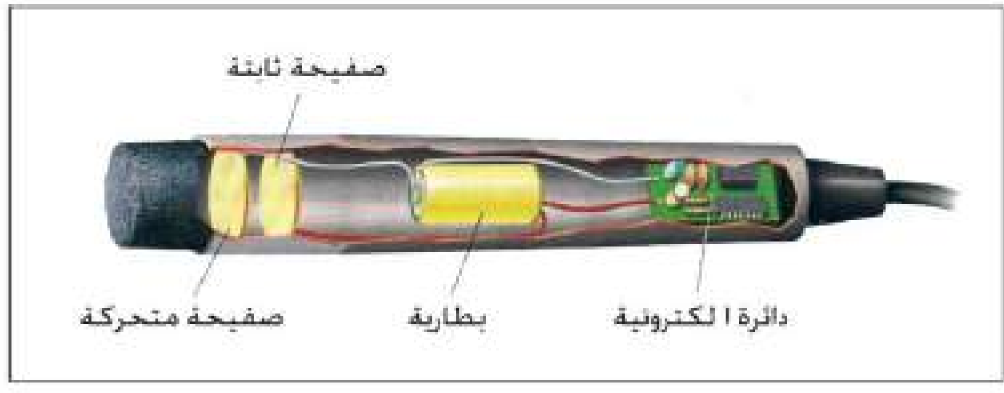
10-1 بعض التطبيقات العملية للمتسعة

1- المتسعة الموضوعة في منظومة المصباح الومضي في آلة التصوير (الكاميرا) الشكل (32) (بعد شحنها بوساطة البطارية الموضوعة في المنظومة)، فهي تجهز المصباح بطاقة تكفي لتوهجه بصورة مفاجئة بضوء ساطع في اثناء تفريغ المتسعة من شحنتها.



الشكل (32)

2- المتسعة الموضوعة في اللاقطة الصوتية (microphone) الشكل (33) إذ تكون إحدى صفيحتيها صلبة ثابتة والأخرى مرنة حرة الحركة والصفيحتان تكونان عند فرق جهد كهربائي ثابت، فالموجات الصوتية تتسبب في اهتزاز الصفيحة المرنة إلى الأمام والخلف فيتغير مقدار سعة المتسعة تبعا لتغير البعد بين صفيحتيها، وبتردد الموجات الصوتية نفسه وهذا يعني تحول الذبذبات الميكانيكية إلى ذبذبات كهربائية.



الشكل (33)

3- المتسعة الموضوعة في جهاز تحفيز وتنظيم حركة عضلات القلب (The defibrillator) الشكل (34-a) يعد من التطبيقات المهمة في الطب، اذ يستعمل هذا الجهاز لنقل مقادير مختلفة ومحددة من الطاقة الكهربائية إلى المريض الذي يعاني من اضطرابات في حركة عضلات قلبه، عندما يكون قلبه غير قادر على ضخ الدم، فيلجأ الطبيب إلى استعمال صدمة كهربائية (Electric Shock) قوية، الشكل (34-b) تحفز قلبه وتعيد انتظام عمله، فالمتسعة المشحونة والموجودة في الجهاز (Defibrillator) ، تفرغ طاقتها المختزنة التي تتراوح بين (10 J - 360 J) في جسم المريض لمدة زمنية قصيرة جداً.



الشكل (34-b)



الشكل (34-a)

4- المتسعة المستعملة في لوحة مفاتيح الحاسوب: توضع متسعة تحت كل حرف من الحروف في لوحة المفاتيح (Key board) لاحظ الشكل (35) إذ يثبت كل مفتاح بصفيحة متحركة تمثل إحدى صفيحتي المتسعة والصفيحة الأخرى مثبتة في قاعدة المفتاح، وعند الضغط على المفتاح يقل البعد الفاصل بين صفيحتي المتسعة فتزداد سعتها وهذا يجعل الدوائر الالكترونية الخارجية تتعرف على المفتاح الذي تم الضغط عليه.



الشكل (35)

تذكر:

تبرز الفائدة من استعمال المتسعة في التطبيقات العملية بصورة رئيسة، مقدرتها على تخزين مقادير كبيرة جدا من الطاقة الكهربائية. وإمكانية تفريغ هذه الطاقة بسرعة كبيرة جدا وبكميات هائلة عند الحاجة إليها، كما عرفنا ذلك في المتسعة المشحونة في منظومة المصباح الومضي في آلة التصوير والمتسعة الموضوعة في جهاز تنظيم حركة عضلات القلب (The defibrillator)



تعلم

من التطبيقات العملية والصناعية الحديثة للمتسعات هو استعمالها في شاشات اللمس في جهاز الهاتف النقال (iphone) وجهاز (ipad) والحاسوب والآت الاقتراع وغيرها والتي إصبحت معروفة جدا وشائعة الاستعمال في وقتنا الحاضر.

لاحظ الشكل (36) يوضح شاشة اللمس المستعملة في جهاز الهاتف النقال الذي يسمى (iphone) فعند ملامسة الإصبع للشاشة تتغير سعة المتسعة في الجزء المطلوب الكشف عنه.



الشكل (36)

أسئلة الفصل الأول

س 1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين، مشحونة ومفصولة عن البطارية، الهواء يملأ الحيز بين صفيحتيها، أدخلت مادة عازلة ثابت عزلها $(k = 2)$ ملأت الحيز بين الصفيحتين، فإن مقدار المجال الكهربائي (E_k) بين صفيحتيها بوجود المادة العازلة مقارنة مع مقداره (E) في حالة الهواء، يصير:

(a) $E/4$ (b) $2E$ (c) E (d) $E/2$

2- وحدة (Farad) تستعمل لقياس سعة المتسعة وهي لا تكافئ احدى الوحدات الآتية:

(a) $Coulomb^2/J$ (b) $Coulomb/V$ (c) $Coulomb \times V^2$ (d) J/V^2

3- متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين، سعتها C، قربت صفيحتيها من بعضهما حتى صار البعد بينهما (⅓) ما كان عليه، فإن مقدار سعتها الجديدة يساوي:

(a) $(\frac{1}{3}C)$ (b) $(\frac{1}{9}C)$ (c) $(3C)$ (d) $(9C)$

4- متسعة مقدار سعتها $(20\mu F)$، لكي تختزن طاقة في مجالها الكهربائي مقدارها $(2.5J)$ يتطلب ربطها بمصدر فرق جهده مستمر يساوي:

(a) $150\ V$ (b) $350V$ (c) $500V$ (d) $250\ kV$

5- متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها $(50\ \mu F)$، الهواء يملاء الحيز بين صفيحتيها، إذا أدخلت مادة عازلة بين صفيحتيها ازدادت سعتها بمقدار $(60\ \mu F)$، فان ثابت عزل تلك المادة يساوي:

(a) 0.45 (b) 0.55 (c) 1.1 (d) 2.2

6- وانت في المختبر تحتاج إلى متسعة سعتها $(10\mu F)$ والمتوافر لديك مجموعة من المتسعات المتماثلة من ذوات السعة $(15\ \mu F)$، فإن عدد المتسعات التي تحتاجها وطريقة الربط التي تختارها هي:

(a) (العدد 4) تربط جميعا على التوالي.
(b) (العدد 6) تربط جميعا على التوازي.
(c) (العدد 3) اثنان منها تربط على التوالي ومجموعتهما تربط مع الثالثة على التوازي.
(d) (العدد 3) اثنان منها تربط على التوازي ومجموعتهما تربط مع الثالثة على التوالي.

7- متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين ربطت صفيحتيها بين قطبي بطارية تجهز فرق جهد ثابت، فإذا أبعدت الصفيحتان عن بعضهما قليلاً مع بقاء البطارية موصولة بهما فإن مقدار المجال الكهربائي بين الصفيحتين :

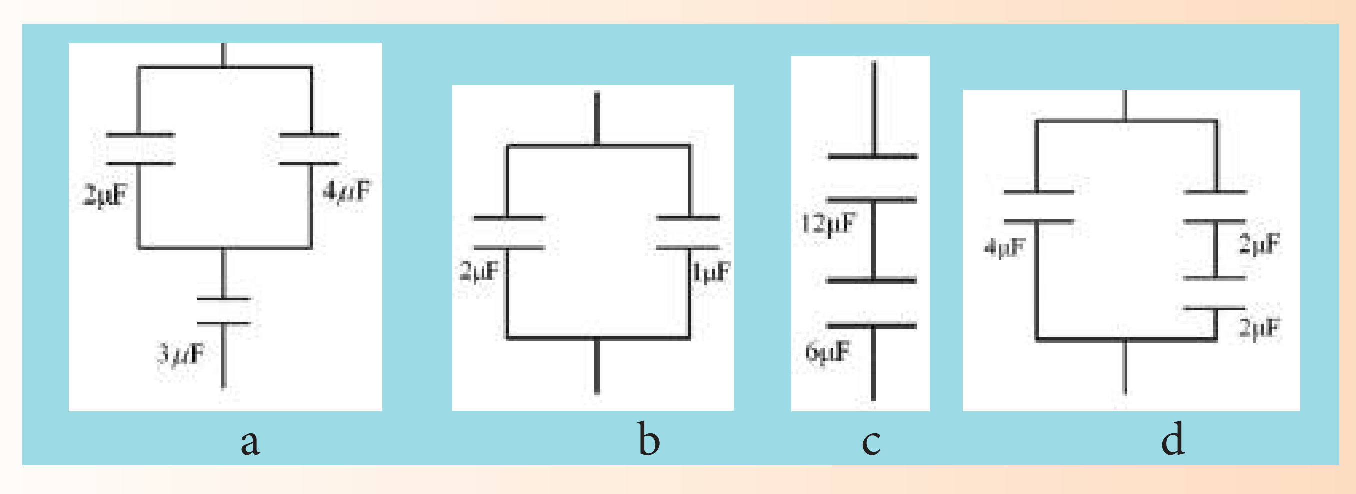
a) يزداد والشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها تزداد

b) يقل والشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها تقل

c) يبقى ثابتاً والشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها تبقى ثابتة

d) يبقى ثابتاً والشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها تزداد

8- للحصول على أكبر مقدار سعة مكافئة لمجموعة المتسعات في الشكل (37) نختار الدائرة المربوطة في الشكل:



الشكل (37)

9- متسعتان $(C_1 ، C_2)$ ربطتا مع بعضهما على التوالي، ومجموعتهما ربطت بين قطبي بطارية، وكان مقدار سعة الاولى اكبر من مقدار سعة الثانية، وعند مقارنة فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة الاولى (ΔV_1) مع فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة الثانية (ΔV_2) نجد ان:

a) ΔV_1 اكبر من ΔV_2

b) ΔV_1 اصغر من ΔV_2

c) ΔV_1 يساوي ΔV_2

d) كل الاحتمالات السابقة، يعتمد ذلك على شحنة كل منهما.

10- ثلاث متسعات $(C_1 ، C_2 ، C_3)$ مربوطة مع بعضها على التوازي ومجموعتها ربطت بين قطبي بطارية، كان مقدار سعاتها $(C_1 > C_2 > C_3)$. وعند مقارنة مقدار الشحنات $(Q_1، Q_2 ، Q_3)$ المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة ، نجد أن :

a) $Q_3 > Q_2 > Q_1$

b) $Q_1 > Q_3 > Q_2$

c) $Q_1 > Q_2 > Q_3$

d) $Q_3 = Q_2 = Q_1$

س 2 عند مضاعفة مقدار فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتي متسعة ذات سعة ثابتة، وضح ماذا يحصل لمقدار كل من:

(a) الشحنة المختزنة (Q) في أي من صفيحتيها ؟

(b) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها؟

س 3 متسعة مشحونة، فرق الجهد بين صفيحتيها عالٍ جدا (وهي مفصولة عن مصدر الفولطية). تكون مثل هذه المتسعة ولمدة زمنية طويلة خطرة عند لمس صفيحتيها باليد مباشرة. ماتفسيرك لذلك ؟

س 4 متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين (الهواء عازل بين صفيحتيها) وضح كيف يتغير مقدار سعتها بتغير كل من العوامل الآتية (مع ذكر العلاقة الرياضية التي تستند إليها في جوابك):

(a) المساحة السطحية للصفيحتين. (b) البعد بين الصفيحتين. (c) نوع الوسط العازل بين الصفيحتين.

س 5 ارسم مخططا لدائرة كهربائية (مع التأشير على أجزائها) توضح فيها:

(a) عملية شحن المتسعة. (b) عملية تفريغ المتسعة من شحنتها.

س 6 لديك ثلاث متسعات متماثلة سعة كل منهما C ومصدرا للفولطية المستمرة فرق الجهد بين قطبيه ثابت المقدار.

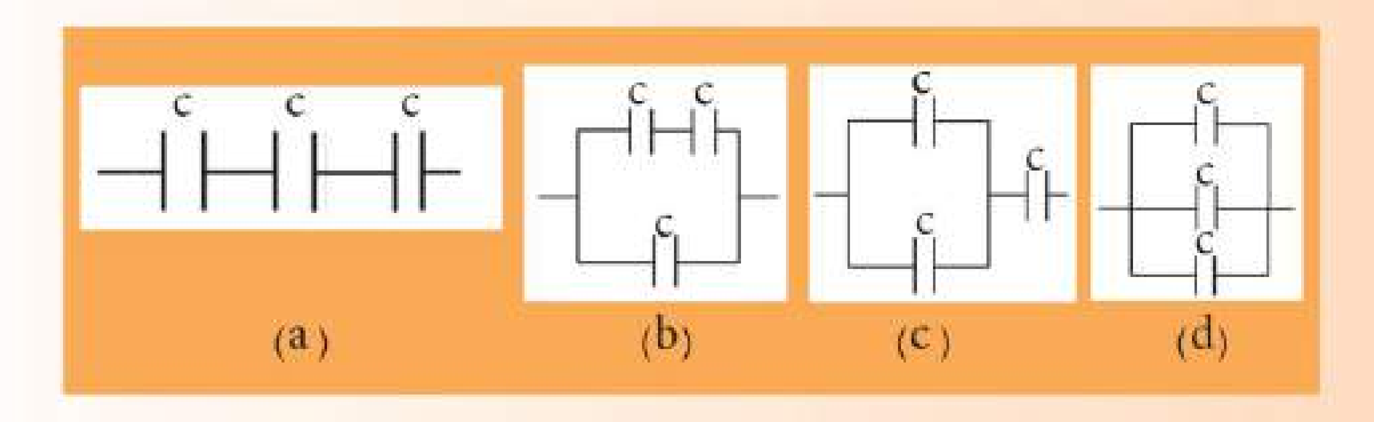
ارسم مخططا لدائرة كهربائية تبين فيه الطريقة المناسبة لربط المتسعات الثلاث جميعها في الدائرة للحصول على أكبر مقدار للطاقة الكهربائية يمكن خزنه في المجموعة، ثم أثبت أن الترتيب الذي تختاره هو الأفضل.

س 7 هل المتسعات المؤلفة للمتسعة متغيرة السعة ذات الصفائح الدوّارة الموضحة في الشكل (38) تكون مربوطة مع بعضها على التوالي؟ أم على التوازي؟ وضح ذلك .


شكل (38)

س 8 ربطت المتسعة C_1 بين قطبي بطارية ،وضح ماذا يحصل ؟ لمقدار كل من فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة C_1 والشحنة المختزنة فيها لو ربطت متسعة اخرى C_2 غير مشحونة مع المتسعة C_1 (مع بقاء البطارية مربوطة في الدائرة). وكانت طريقة الربط أولاً –على التوازي مع C_1. ثانياً – على التوالي مع C_1.

س9 في الشكل (39) المتسعات الثلاث متماثلة سعة كل منها (C)، رتب الأشكال الأربعة بالتسلسل من أكبر مقدار للسعة المكافئة للمجموعة إلى أصغر مقدار:



الشكل (39)

س10

a- أذكر ثلاثة تطبيقات عملية للمتسعة، ووضح الفائدة العملية من استعمال تلك المتسعة في كل تطبيق.

b- متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين مشحونة ومفصولة عن البطارية، لو ملأ الحيز بين صفيحتيها بالماء النقي بدلا من الهواء، فإن مقدار فرق الجهد الكهربائي بين صفيحتيها سينخفض. ما تعليل ذلك؟

c- اذكر فائدتين عمليتين تتحققان من إدخال مادة عازلة كهربائيا تملأ الحيز بين صفيحتي متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين بدلا من الهواء ؟

d- ما العامل الذي يتغير في المتسعة الموضوعة في لوحة المفاتيح في جهاز الحاسوب أثناء استعمالها ؟

e- ما مصدر الطاقة الكهربائية المجهزة للجهاز الطبي (The defibrillator) المستعمل لتوليد الصدمة الكهربائية لغرض تحفيز وإعادة انتظام عمل قلب المريض.

f- ما التفسير الفيزيائي لكل من:

1- ازدياد مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوازي؟

2- نقصان مقدار السعة المكافئة لمجموعة المتسعات المربوطة على التوالي؟

س11 علل ما يأتي:

a- المتسعة المشحونة والموضوعة في دائرة التيار المستمر تعد مفتاحا مفتوحاً؟

b- يقل مقدار المجال الكهربائي بين صفيحتي متسعة مشحونة ومفصولة عند إدخال مادة عازلة بين صفيحتيها؟

c- يحدد مقدار أقصى فرق جهد كهربائي يمكن أن تعمل عنده المتسعة؟

س12 متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين الهواء عازل بين صفيحتيها، شحنت بوساطة بطارية ثم فصلت عنها، وعندما أدخل لوح عازل كهربائي ثابت عزله $(k = 2)$ بين صفيحتيها، ماذا يحصل لكل من الكميات الاتية للمتسعة (مع ذكر السبب):

a- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها.

b- سعتها.

c- فرق الجهد بين صفيحتيها.

d- المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

e- الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

س13 متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين الهواء عازل بين صفيحتيها، ربطت بين قطبي بطارية وعندما ادخل عازل كهربائي بين صفيحتيها ثابت عزله $k = 6$ والمتسعة مازالت موصولة بالبطارية، ماذا يحصل لكل من الكميات الاتية للمتسعة (مع ذكر السبب):

a- فرق الجهد بين صفيحتيها.

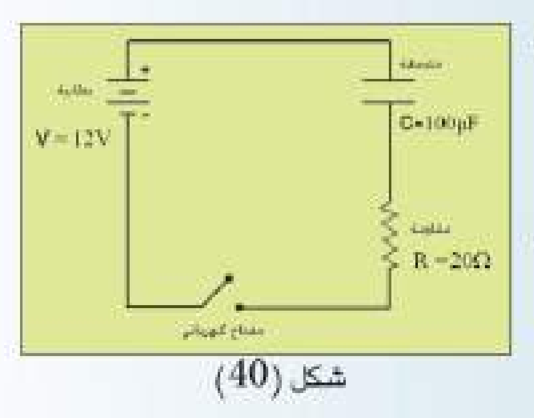
b- سعتها.

c- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتيها.

d- المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

e- الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

مسائل الفصل الاول



شكل (40)

س1 من المعلومات الموضحة في الدائرة الكهربائية في الشكل (40) احسب :

(a) المقدار الاعظم لتيار الشحن، لحظة اغلاق المفتاح.

(b) مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة بعد مدة من اغلاق المفتاح (بعد اكتمال عملية الشحن).

(c) الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة.

(d) الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة.

س2 متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها ($4\mu F$) ربطت بين قطبي بطارية فرق الجهد بين قطبيها ($20V$):

a. ما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة ؟

b. إذا فصلت المتسعة عن البطارية وأدخل لوح عازل كهربائي بين صفيحتيها هبط فرق الجهد بين صفيحتيها إلى ($10V$) فما مقدار ثابت العزل للوح العازل؟ وما مقدار سعة المتسعة في حالة العازل بين صفيحتيها؟

س3 متسعتان ($C_1=9\mu F$، $C_2=18\mu F$) من ذوات الصفائح المتوازية مربوطتان مع بعضهما على التوالي وربطت مجموعتهما مع نضيدة فرق الجهد الكهربائي بين قطبيها ($12V$).

a. احسب مقدار فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة والطاقة المختزنة فيها.

b. أدخل لوح عازل كهربائي ثابت عزله (4) بين صفيحتي المتسعة C_1 (مع بقاء البطارية مربوطة بين طرفي المجموعة)، فما مقدار فرق الجهد بين صفيحتي كل متسعة والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيهابعد إدخال العازل؟

س4 متسعتان من ذوات الصفيحتين المتوازيتين ($C_1=16\mu F$ ، $C_2=24\mu F$) مربوطتان مع بعضهما على التوازي ومجموعتهما ربطت بين قطبي بطارية فرق الجهد بن قطبيها ($48V$). إذا أدخل لوح من مادة عازلة ثابت عزلها (k) بين صفيحتي المتسعة الأولى ومازالت المجموعة متصلة بالبطارية فكانت الشحنة الكلية للمجموعة ($3456\mu C$) ما مقدار:

a- ثابت العزل (k).

b- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة قبل وبعد أدخال المادة العازلة.

س5 متسعتان $(C_1= 4\mu F ، C_2= 8\mu F)$ مربوطتان مع بعضهما على التوازي، فإذا شحنت مجموعتهما بشحنة كلية $(600\ \mu\ Coulomb)$ بوساطة مصدر للفولطية المستمرة ثم فصلت عنه.

a. احسب لكل متسعة مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفحتيها والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتيها.

b. أدخل لوح من مادة عازلة كهربائيا ثابت عزلها (2) بين صفيحتي المتسعة الثانية، فما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة وفرق جهد والطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي كل متسعة بعد إدخال العزل.

س6 لديك ثلاث متسعات سعاتها $(C_1= 6\mu F ، C_2= 9\mu F ، C_3 =18\mu F)$ ومصدرا للفولطية المستمرة فرق الجهد بين قطبيه $(6V)$. وضح مع رسم مخطط للدائرة الكهربائية، كيفية ربط المتسعات الثلاث مع بعضها للحصول على:

a. أكبر مقدار للسعة المكافئة، وما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة ومقدار الشحنة المختزنة في المجموعة.

b. أصغر مقدار للسعة المكافئة، وما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة ومقدارالشحنة المختزنة في المجموعة.

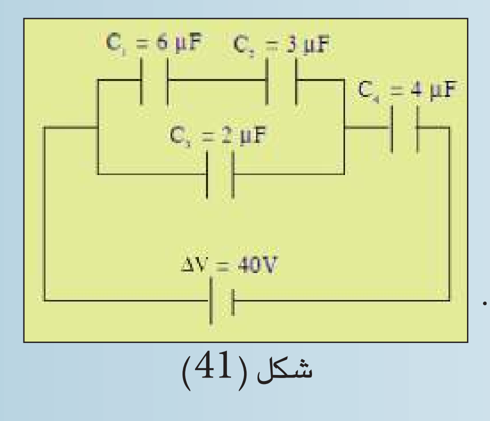
س7 اربع متسعات ربطت مع بعضها كما في الشكل (41)

احسب مقدار

a- السعة المكافئة للمجموعة.

b- الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة.

c- الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة (C_4).

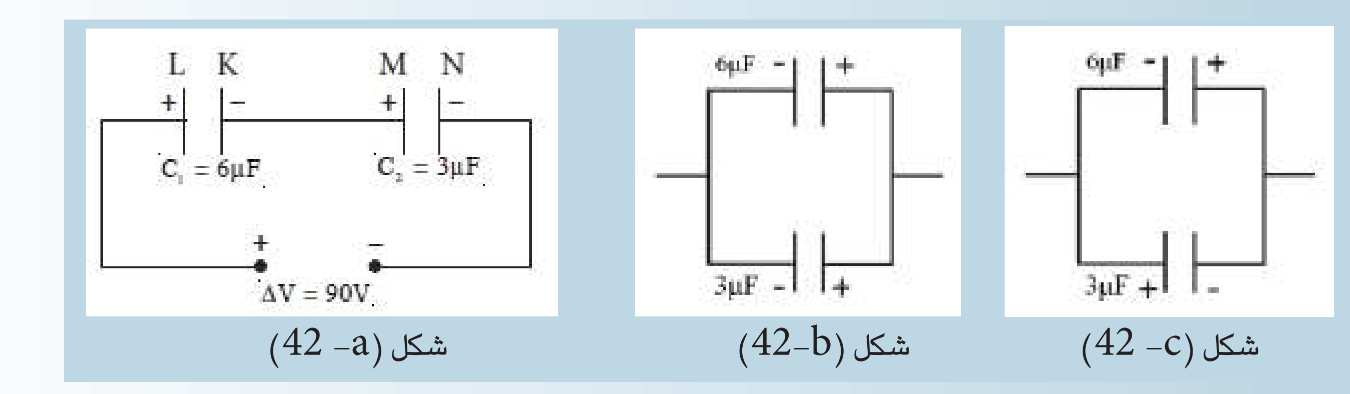


شكل (41)

س8 متسعتان ($3\mu F$ و $6\mu F$) ربطتا على التوالي مع بعضهما ثم ربطت مجموعتهما بين قطبي بطارية فرق الجهد بينهما($90V$) كما في الشكل ($42-a$). فإذا فصلت المتسعتان عن بعضهما وعن البطارية دون حدوث ضياع بالطاقة ثم أعيد ربطهما مع بعض.

اولا: كما في الشكل ($42-b$) بعد ربط الصفائح المتماثلة الشحنة للمتسعتين مع بعضهما.

ثانيا: كما في الشكل ($42-c$) بعد ربط الصفائح المختلفة الشحنة للمتسعتين مع بعضهما. ما مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي كل متسعة في الشكلين ($42-b$) ، ($42-c$).



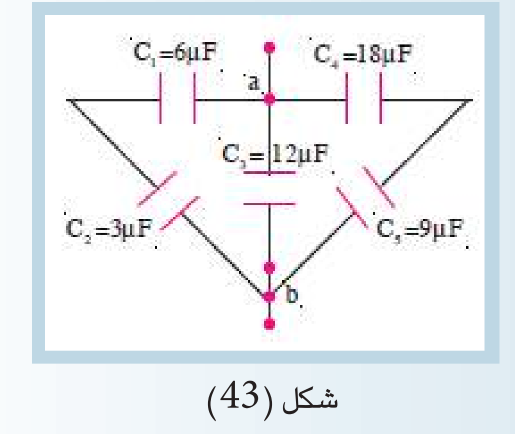
شكل ($42-a$) شكل ($42-b$) شكل ($42-c$)

س9 في الشكل (43):

a- احسب مقدار السعة المكافئة للمجموعة.

b- إذا سلط فرق جهد كهربائي مستمر ($20V$) بين النقطتين (a) و (b) فما مقدار الشحنة الكلية المختزنة في المجموعة ؟

c- ما مقدارالشحنة المختزنة في كل متسعة؟



شكل (43)

الفصل الثاني 2

الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic induction







مفردات الفصل:

2-1 مقدمة في المغناطيسية

2-2 تأثير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله.

2-3 الحث الكهرومغناطيسي

2-4 اكتشاف فراداي

2-5 القوة الدافعة الكهربائية الحركية

2-6 التيار المحتث

2-7 الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة

2-8 الفيض المغناطيسي

2-9 قانون فراداي

2-10 قانون لنز

2-11 التيارات الدوامة

2-12 المولدات الكهربائية

2-13 المحركات الكهربائية للتيار المستمر

2-14 المحاثة

2-15 الحث الذاتي

2-16 الطاقة المختزنة في المحث

2-17 الحث المتبادل

2-18 المجالات الكهربائية المحتثة

2-19 بعض التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يعرف مفهوم المغناطيسية.
- يوضح تاثير كل من المجال الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله.
- يفسر ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.
- يذكر اكتشاف فراداي.
- يتعرف على القوة الدافعه الكهربائية الحركية.
- يعرف الفيض المغناطيسي.
- يعرف قانون لنز وماهي الفائدة العملية من تطبيقه.
- يفهم عمل المولد الكهربائي.
- يقارن بين عمل مولد التيار المتناوب ومولد التيار المستمر.
- يشرح بتجربة كيفية توليد القوة الدافعه الكهربائية الذاتية على طرفي ملف.
- يتعرف ظاهرة الحث المتبادل.

المصطلحات العلمية	
Electromagnetic Induction	الحث الكهرومغناطيسي
Electromotive Force	القوة الدافعة الكهربائية
Induced Currents	التيارات المحتثة
Magnetic Flux	الفيض المغناطيسي
Motional emf	القوة الدافعة الكهربائية الحركية
Eddy Currents	التيارات الدوامة
Faraday’ s Law	قانون فراداي
Lenz’ s Law	قانون لنز
Electric Generator	المولد الكهربائي
Electric Motor	المحرك الكهربائي
Induced Electromotive Force	القوة الدافعة الكهربائية المحتثة
Induced Electric Fieldes	المجالات الكهربائية المحتثة
Self – Inductance	الحث الذاتي
Mutual Induction	الحث المتبادل
Inductors	المحاثات
Metal Detectors	كاشفات المعادن
Magnetic Field	المجال المغناطيسي
Moving Charges	الشحنات المتحركة
Magnetic Force	القوة المغناطيسية
Lorentz Force	قوة لورنز
Induction Stove	الطباخ الحثي
Faraday’ s Discovery	اكتشاف فراداي

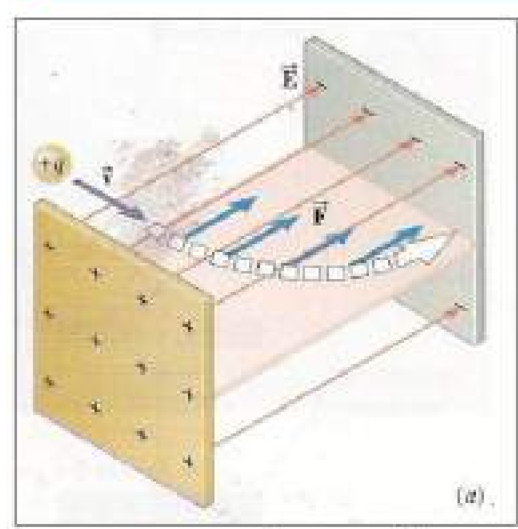
1-2 مقدمة في المغناطيسية


شكل (1)

لقد تعلمت في دراستك السابقة ان المغناطيسية واحدة من المواضيع الاكثر أهمية في الفيزياء، اذ يستعمل المغناطيس الكهربائي في رفع قطع الحديد الثقيلة وفي معظم الاجهزة الكهربائية مثل (المولد ، المحرك ، مولدة الصوت، المسجل الصوتي والصوري، القيثارة الكهربائية، الحاسوب ، الرنين المغناطيسي وفي تسيير القطارات فائقة السرعة لاحظ الشكل (1)).

وقدعرفت كذلك ان المجالات المغناطيسية تتولد حول الشحنات الكهربائية المتحركة زيادة على تولدها حول المغانط الدائمة.

2-2 تاثير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله

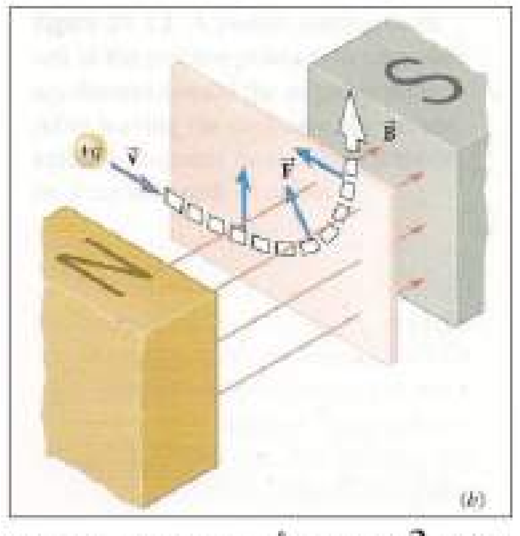


شكل (2) يوضح تأثير القوة الكهربائية في جسيم موجب الشحنة

لو تحرك جسيم مشحون داخل مجال كهربائي منتظم تارة وتحرك الجسيم نفسه داخل مجال مغناطيسي منتظم تارة أخرى، هل تتوقع ان يكون لكل من المجالين التأثير نفسه في ذلك الجسيم ؟ وماذا يحصل لو تحرك هذا الجسيم داخل المجالين في آن واحد؟

* اذا تحرك جسيم مشحون بشحنة موجبة (+q) باتجاه عمودي على خطوط مجال كهربائي ($\vec{E}$) منتظم، فان هذا الجسيم سيتأثر بقوة كهربائية ($\vec{F}_E$) بمستوٍ موازٍ لخطوط المجال الكهربائي، لاحظ الشكل (2) الذي يوضح القوة الكهربائية والتي تعطى بالعلاقة الآتية:

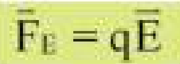
$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$



شكل (3) يوضح تأثير القوة المغناطيسية في جسيم موجب الشحنة

* اذا تحرك الجسيم نفسه بسرعة $\vec{v}$ باتجاه عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($\vec{B}$) فسيتأثر بقوة مغناطيسية ($\vec{F}_B$) بمستوي عمودي على ذلك الفيض وسينحرف الجسيم عن مساره الاصلي ويتخذ مساراً دائرياً وذلك لكون القوة المغناطيسية تؤثر باتجاه عمودي على متجه السرعة $\vec{v}$، لاحظ الشكل (3).

والصيغة الاتجاهية للقوة المغناطيسية هذه تعطى بالعلاقة الآتية:



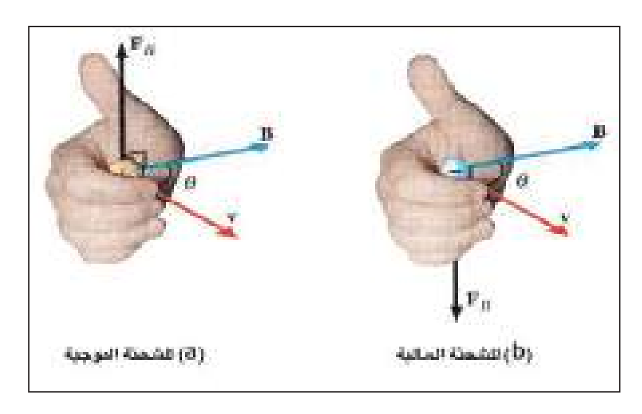
$$\vec{F}_B = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$$

ولتعيين اتجاه القوة المغناطيسية $(\vec{F}_B)$ نطبق قاعدة الكف اليمنى، لاحظ الشكل (4) (تُدوّر اصابع الكف اليمنى من اتجاه السرعة $\vec{v}$ نحو اتجاه المجال المغناطيسي $(\vec{B})$ فيشير الابهام الى اتجاه القوة $(\vec{F}_B)$).

شكل (4)

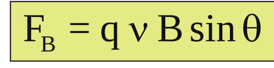
فالقوة المغناطيسية $(\vec{F}_B)$ تؤثر دائما في اتجاه عمودي على المستوي الذي يحتوي كل من $(\vec{B}, \vec{v})$.

ويكون تأثير القوة المغناطيسية في الشحنة السالبة المتحركة في المجال المغناطيسي معاكساً لاتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة الموجبة. لاحظ الشكل (5).



شكل (5)

ولحساب مقدار القوة المغناطيسية $(\vec{F}_B)$ ، نطبق العلاقة الآتية:



$$F_B = q\, v\, B \sin\theta$$

إذ إن θ تمثل الزاوية بين متجه السرعة $\vec{v}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $(\vec{B})$

من العلاقة انفة الذكر نجد ان وحدات كثافة الفيض المغناطيسي (B) في النظام الدولي للوحدات (SI) هي: $(N/A.m)$ تسمى Tesla ويرمز لها (T)

فاذا كان متجه $\vec{v}$ موازيا لمتجه $(\vec{B})$ ، تكون الزاوية $\theta = 0^0$ فيكون $\sin 0^0 = 0$ وعندئذ لاتتولد قوة مغناطيسية، اذ تكون : $F_B = 0$ ؛ واذا كانت $\theta = 90^0$ فأن اعظم قوة مغناطيسية $F_B = qvB$.

• ولنفترض وجود منطقة يؤثر فيها كل من مجال كهربائي $(\vec{E})$ منتظم ومجال مغناطيسي كثافة فيضه $(\vec{B})$ منتظمة، وفي المدة الزمنية نفسها، وعلى فرض ان المجالين متعامدان مع بعضهما مثلاً المجال الكهربائي يؤثر في مستوي هذه الصفحة والمجال المغناطيسي يؤثر عمودياً في مستوى الصفحة نحو الداخل (مبتعدا عن القارئ يمثله الرمز (X))، لاحظ الشكل (6).

فعندما يقذف جسيم مشحون بشحنة موجبة (+q) بسرعة $\vec{v}$ في مستوي الصفحة باتجاه عمودي على كل من المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي، فان هذا الجسيم سيتأثر فيها بقوتين احداهما قوة كهربائية $(\vec{F}_E)$ التي يؤثر فيها المجال الكهربائي $(\vec{E})$، والتي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$(\vec{F}_E = q\vec{E})$$

شكل (6)

والأخرى قوة مغناطيسية $(\vec{F}_B)$ يؤثر فيها المجال المغناطيسي $(\vec{B})$ والتي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

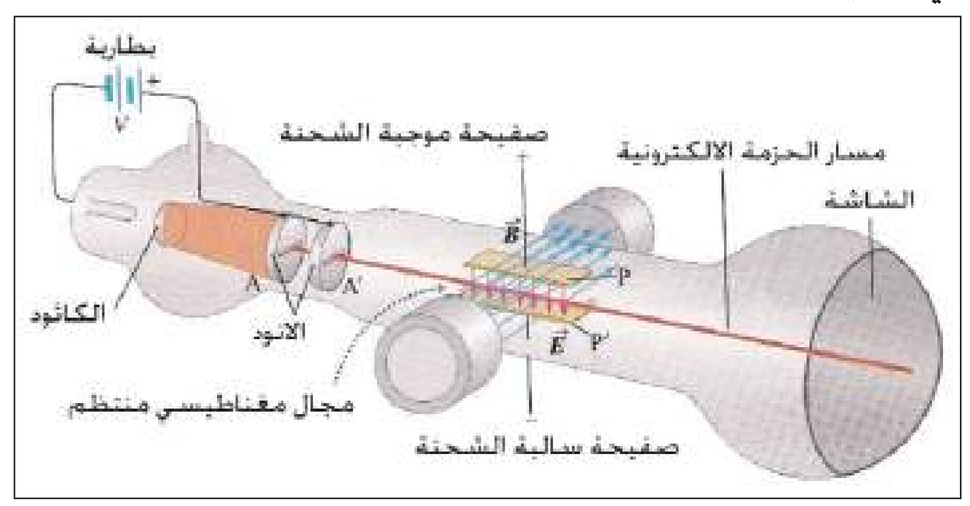
وبما ان القوة المغناطيسية $(\vec{F}_B)$ تكون عمودية على كل من $(\vec{B}, \vec{v})$ فهي اما ان تكون باتجاه القوة الكهربائية $(\vec{F}_E)$ او باتجاه معاكس لها، لاحظ الشكل (6).

ان محصلة هاتين القوتين تسمى قوة لورنز (Lorentz force).

تعطى قوة لورنز بالعلاقة الآتية:

$$\vec{F}_{Lorentz} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

تستثمر قوة لورنز في بعض التطبيقات العملية ومن امثلتها انبوبة الاشعة الكاثودية للتحكم في مسار الحزمة الالكترونية الساقطة على الشاشة، لاحظ الشكل (7) الذي يوضح مسار حزمة الكترونية يؤثر فيها مجالين كهربائي منتظم ومغناطيسي منتظم خلال الراسمة الكاثودية.



شكل (7) (للاطلاع)

تذكر

اذا تحرك جسيم مشحون بشحنة موجبة باتجاه عمودي على:

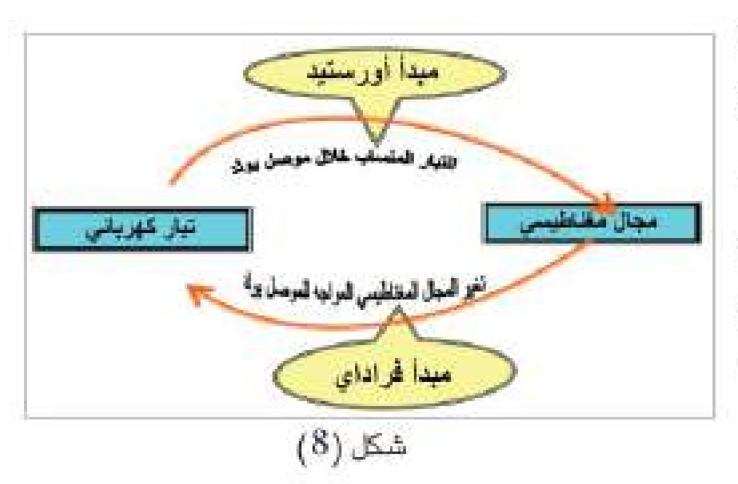
- فيض كهربائي منتظم سيتأثر الجسيم بقوة كهربائية $(\vec{F}_E = q\vec{E})$ بمستوٍ موازٍ للفيض الكهربائي.
- فيض مغناطيسي منتظم سيتأثر الجسيم بقوة مغناطيسية $\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$ بمستوٍ عمودي على الفيض المغناطيسي.
- فيض كهربائي منتظم و فيض مغناطيسي منتظم في آن واحد ومتعامدان مع بعضهما سيتأثر الجسيم بمحصلة القوتين $(\vec{F}_B, \vec{F}_E)$ والتي تسمى قوة لورنز .

يكون متجه القوة المغناطيسية $(\vec{F}_B)$ معاكسا لمتجه القوة الكهربائية $(\vec{F}_E)$ أو بالاتجاه نفسه وعلى خط فعل مشترك.

$$\vec{F}_{Lorentz} = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$

3-2 الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

لقد علمت في دراستك السابقة ان العالم اورستيد اكتشف في عام 1819 "ان التيار الكهربائي يولد مجالا مغناطيسيا" لذا يُعد أورستيد اول من اوجد العلاقة بين الكهربائية والمغناطيسية، واكتشافه هذا دفع العلماء الى البحث والاستقصاء عن امكانية التوصل الى حقيقة معاكسة لذلك، وهي هل بامكان المجال المغناطيسي ان يولد تيارا كهربائيا في دائرة كهربائية ؟ وهذا السؤال بقي محيرا للعلماء ومن غير جواب حتى عام 1831، اذ توصل العالم فراداي في انكلترا والعالم هنري في اميركا (كل على انفراد) من خلال اجراء تجارب عدة، الى حقيقة مهمة وهي امكانية توليد تيار كهربائي في حلقة موصلة مقفلة (او ملف من سلك موصل) وذلك بوساطة مجال مغناطيسي متغير يواجه تلك الحلقة او الملف، وهنالك طرائق عدة يستعمل فيها المجال المغناطيسي في توليد تيار كهربائي، لاحظ المخطط الموضح في الشكل (8) الذي يمثل مبدأ اورستد ومبدأ فراداي، فهما يكملان بعضهما بعضا.



شكل (8)

الشكل (9-a) يبين لنا احدى هذه الطرائق، اذ يُظهر الشكل ساقا مغناطيسية وملفا من سلك موصل مربوط بين طرفي أميتر رقمي (digital ammeter).



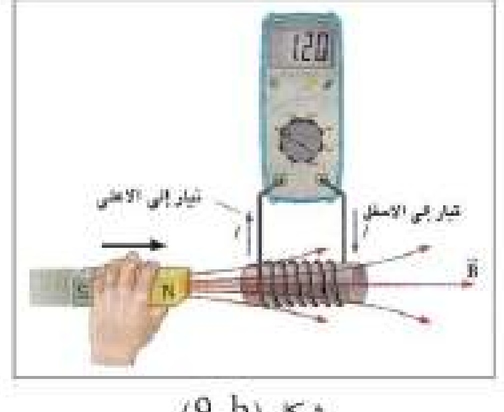
شكل (9-a)

فعندما تكون الساق في حالة سكون نسبة للملف نلاحظ ان قراءة الاميتر صفرا، فما تعليل ذلك؟

ان سبب ذلك هو ان الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق الملف لايتغير مع الزمن.

وذلك لعدم توافر الحركة النسبية بين المغناطيس والملف.

لذا لاينساب تيار في الدائرة، لاحظ الشكل (9-a).

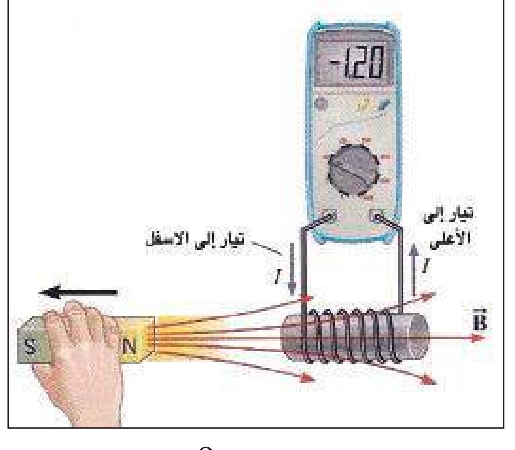


شكل (9-b)

وعندما تمسك الساق المغناطيسية باليد وقطبها الشمالي مواجها لاحد وجهي الملف وندفعها نحو الملف وبموازاة محوره، ماذا يحصل؟

اذا تمعنا في الشكل (9-b) نعرف الجواب، نجد الاميتر يشير الى انسياب تيار في الدائرة ويكون باتجاه معين، وتفسير ذلك هو حصول تزايد في الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق الملف في اثناء اقتراب المغناطيس من الملف.

اما لو أُبعدت الساق المغناطيسية بالسرعة نفسها وقطبها الشمالي مواجها لاحد وجهي الملف عن الملف وبموازاة محوره. هل سيشير الاميتر الى انسياب تيار ؟ وهل ان هذا التيار يكون بالاتجاه نفسه الذي تولد في حالة اقتراب القطب الشمالي من وجه الملف؟



شكل (9-c)

لاحظ الشكل (9-c) وأجب عن هذا التساؤل.

يسمى التيار المنساب في الدائرة في الحالتين بالتيار المحتث.

ويرمز له بـ (I_{ind}) فهو تولد نتيجة حصول تغير في الفيض المغناطيسي $\Delta\Phi_B$ الذي يخترق الملف لوحدة الزمن.

لقد وجد عمليا ان مقدار التيار المحتث يزداد بازدياد:

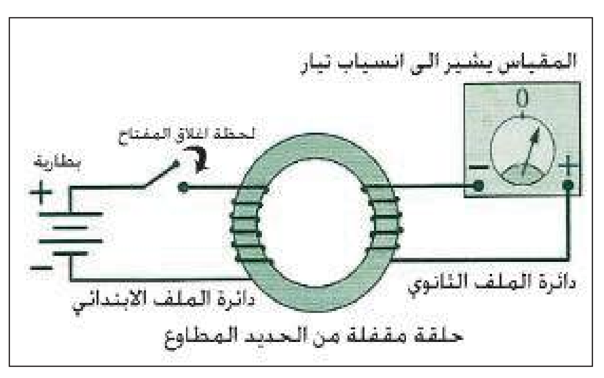
- سرعة الحركة النسبية بين القطب المغناطيسي والملف.
- عدد لفات الملف.
- مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف.
- النفوذية المغناطيسية لمادة جوف الملف (ادخال قلب من الحديد المطاوع في جوف الملف بدلا من الهواء يتسبب في ازدياد كثافة الفيض المغناطيسي).

فكر؟

لو ثبتت الساق المغناطيسية (مع بقاء قطبها الجنوبي مواجها لاحد وجهي الملف)، ثم دفع الملف نحو الساق وبموازاة محوره. أينعكس اتجاه التيار المحتث في الملف ؟ أم يكون بالاتجاه نفسه للتيارالمتولد في حالة دفع الساق المغناطيسية نحو وجه الملف؟ ماتفسير جوابك؟

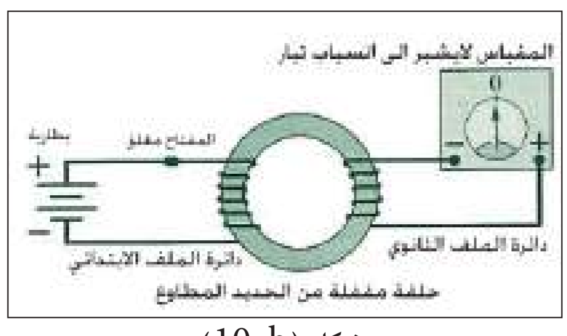
4-2 اكتشاف فراداي Faraday's Discovery

يمكن اجراء تجارب عدة في المختبر لتوضيح ما استنتجه العالم فراداي في تجربته الشهيرة في الحث الكهرومغناطيسي، ومنها نستعمل ملفين يتألفان من سلكين ملفوفين حول حلقة مقفلة من الحديد المطاوع، اذ ربط احد الملفين على التوالي مع بطارية ومفتاح (الدائرة التي على جهة اليسار) كما تلاحظها في الشكل (10-a)

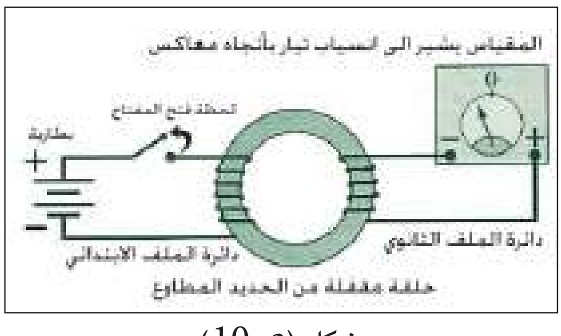


شكل (10-a)

وتسمى بدائرة الملف الابتدائي، في حين ربط الملف الاخر بين طرفي جهاز يتحسس بالتيارات صغيرة المقدار صفره في وسط التدريجة (الدائرة التي على جهة اليمين) وتسمى بدائرة الملف الثانوي. لاحظ فراداي انحراف مؤشر المقياس المربوط مع الملف الثانوي على احد جانبي صفر التدريجة لحظة اغلاق المفتاح المربوط مع الملف الابتدائي ثم رجوعه الى تدريجة الصفر لاحظ الشكل (10-a).



شكل (10–b)



شكل (10–c)

ولعلك تتسائل عن تفسير ماحصل ؟ لقد كان انحراف مؤشر المقياس هو الدليل القاطع على انسياب تيار كهربائي في دائرة الملف الثانوي وهذا التيار قد سمي بالتيار المحتث. على الرغم من عدم توافر بطارية او مصدر للفولطية في هذه الدائرة. اما عودة مؤشر المقياس الى تدريجة الصفر بعد اغلاق المفتاح، كان بسبب ثبوت التيار المنساب في دائرة الملف الابتدائي وعندها لايحصل تغيرا في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$. لاحظ الشكل (10–b)

كما لاحظ العالم فراداي انحراف مؤشر المقياس ثانية لحظة فتح المفتاح ولكن الى الجانب الاخر للصفر في هذه المرة لاحظ الشكل (10–c) ثم عودته الى تدريجة الصفر.

والذي لفت انتباه فراداي ان هذا التأثير (انسياب التيار في دائرة الثانوي) قد حصل فقط خلال مرحلتي نمو التيار و تلاشيه في دائرة الملف الابتدائي.

وبما ان عمليتي تنامي التيار وتلاشيه في دائرة الملف الابتدائي تتسببان في تزايد وتناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق قلب الحديد الملفوف حوله الملفين، مما جعل فراداي ينتبه إلى ضرورة توافر العامل الأساسي لتوليد التيار المحتث في دائرة مقفلة، وهو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن.

وبناءً على ذلك استنتج فراداي ما يأتي:

" يتولد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة (مثل ملف سلكي او حلقة موصلة)، فقط عندما يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ ".

وبعد تلك المشاهدات الناجحة والمثيرة للدهشة، أعطى فراداي اخيرا تفسيرا فيزيائيا لسبب فشل المحاولات العملية التي سبقت اكتشافه في توليد تيار كهربائي بوساطة مجال مغناطيسي، اذ كانت جميع تلك المحاولات تعتمد على المجالات المغناطيسية الثابتة فقط.

ولتوضيح مفهوم ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي بعد الاكتشاف المهم لفراداي، أُجريت تجارب عدة لتوليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة لاتحتوي بطارية او مصدرا للفولطية.

نشاط (1)

لتوضيح ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

ادوات النشاط:

ملفان سلكيان مجوفان مختلفان في اقطارهما (يمكن ادخال احدهما في الاخر)، كلفانوميتر صفره في وسط التدريجة ، ساق مغناطيسية ، اسلاك توصيل ، بطارية ، مفتاح كهربائي.

خطوات النشاط:

أولا:



شكل (11-a)

- نربط طرفي احد الملفين بوساطة اسلاك التوصيل مع طرفي الكلفانوميتر.
- نجعل الساق المغناطيسية وقطبها الشمالي مواجها للملف وفي حالة سكون نسبة للملف. هل نلاحظ حصول انحراف لمؤشر الكلفانوميتر؟

  سنجد ان مؤشرالكلفانوميتر يبقى ثابتا عند صفر التدريجة، اي لايشير الى انسياب تيار في دائرة الملف. لاحظ الشكل (11-a).
- ندفع الساق المغناطيسية نحو وجه الملف، ثم نبعدها عنه، ماذا نلاحظ؟



شكل (11-b)

نجد ان مؤشر الكلفانوميتر ينحرف على احد جانبي صفر التدريجة (عند تقريب الساق) وينحرف باتجاه معاكس (عند ابعادها)، مشيرا الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف في الحالتين. لاحظ شكل (11-b).

ثانيا:

- نربط طرفي ملف اخر (ويسمى بالملف الابتدائي) بين قطبي البطارية بوساطة اسلاك التوصيل للحصول على مغناطيس كهربائي.
- نحرك الملف المتصل بالبطارية (الملف الابتدائي) امام وجه الملف الثانوي المتصل بالكلفانوميتر بتقريبه مرة من وجه الملف الثانوي وابعاده مرة اخرى وبموازاة محوره. ماذا نلاحظ ؟



شكل (11-c)

نجد ان مؤشر الكلفانوميتر ينحرف على أحد جانبي الصفر مرة وباتجاه معاكس مرة أخرى وبالتعاقب مشيرا الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف الثانوي ثم عودته الى الصفر عندما لايحصل توافر الحركة النسبية بين الملفين. لاحظ شكل (11-c).

ثالثا:



شكل (11-d)

- نربط مفتاح كهربائي في دائرة الملف الابتدائي ونجعله مفتوحا.
- ندخل الملف الابتدائي في جوف الملف الثانوي ونحافظ على ثبوت احد الملفين نسبة إلى الاخر. هل ينحرف مؤشر الكلفانوميتر؟
- نغلق ونفتح المفتاح في دائرة الملف الابتدائي. ماذا نلاحظ ؟

نجد ان مؤشر الكلفانوميتر يتذبذب بانحرافه على جانبي الصفر باتجاهين متعاكسين فقط في لحظتي اغلاق وفتح المفتاح في دائرة الملف الابتدائي وعلى التعاقب، مشيرا الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف الثانوي خلال تلك اللحظتين. لاحظ شكل (11-d).

نستنتج من كل نشاط من الانشطة الثلاث مايأتي:

- تُستحث قوة دافعة كهربائية (ε_{ind}) وينساب تيار محتث (I_{ind}) في دائرة كهربائية مقفلة (حلقة موصلة او ملف) فقط عند حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن، (على الرغم من عدم توافر بطارية في تلك الدائرة).
- تكون قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) واتجاه التيار المحتث (I_{ind}) في الدائرة الكهربائية باتجاه معين عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترقها ويكونان باتجاه معاكس عند تناقص هذا الفيض.

5-2 القوة الدافعة الكهربائية الحركية Motional (emf) $(\varepsilon_{motional})$

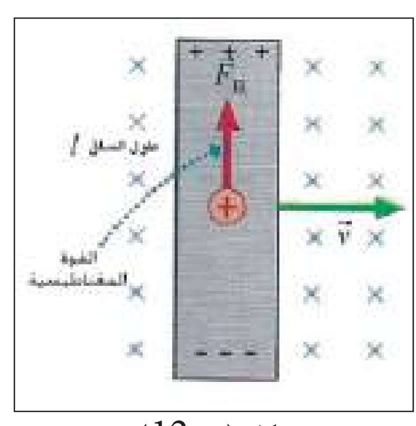
نحصل على قوة دافعة كهربائية محتثة عند تحريك ساق موصلة داخل مجال مغناطيسي منتظم تسمى بالقوة الدافعة الكهربائية الحركية. وهذه تعد حالة خاصة من حالات الحث الكهرومغناطيسي.

نتيجة لحركة الساق الموصلة داخل المجال المغناطيسي تتأثر الشحنات الموجبة للساق بقوة مغناطيسية $(F_{B1} = qvB\ \sin\theta)$.

وعندما تكون حركة الساق عمودية على الفيض المغناطيسي فان هذه القوة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$(F_{B1} = qvB)$$

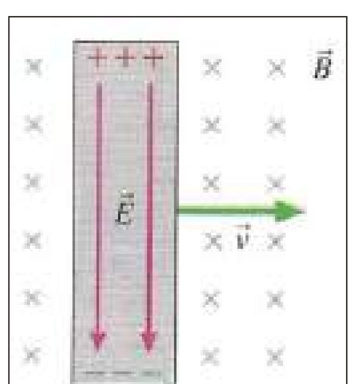
وتؤثر في اتجاه موازٍ لمحور الساق فتعمل هذه القوة على فصل الشحنات الموجبة عن الشحنات السالبة، اذ تتجمع الشحنات الموجبة في احد طرفي الساق والشحنات السالبة في طرفها الاخر.



شكل (12-a)

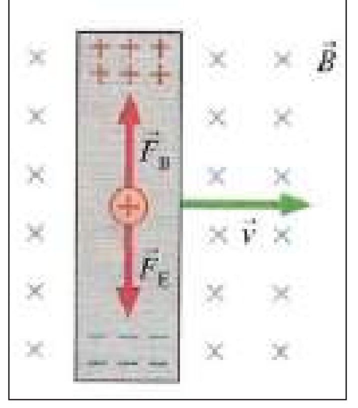
الشكل (12-a) يبين تجمع الشحنات الموجبة عند طرفها العلوي والشحنات السالبة عند طرفها السفلي، وذلك على وفق قاعدة الكف اليمنى. وفي الحالة التي تكون فيها كثافة الفيض المغناطيسي $(\vec{B})$ باتجاه عمودي على الصفحة ونحو الداخل، وحُركت الساق بسرعة $\vec{v}$ نحو اليمين وفي مستوى الصفحة.

ويستمر تجمع الشحنات المختلفة في طرفي الساق مع استمرار حركتها داخل المجال المغناطيسي. فيتولد فرق جهد كهربائي بين طرفي الساق يسمى القوة الدافعة الكهربائية الحركية $(\varepsilon_{motional})$.


شكل (12-b)

فينشأ نتيجة لذلك مجال كهربائي $\vec{E}$ يتجه نحو الاسفل، لاحظ الشكل (12-b). والمجال الكهربائي المتولد سيؤثر بدوره في هذه الشحنات بقوة $(F_E = qE)$ ويتبين هنا ان اتجاه القوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي $\vec{F}_E$ نحو الاسفل وباتجاه موازٍ لمحور الساق ايضا اذ تكون معاكسة لاتجاه القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي $\vec{F}_{B1}$ في تلك الشحنة التي تؤثر نحو الاعلى، وكلا القوتين في مستوي واحد وبخط فعل مشترك. لاحظ الشكل (12-c). وعند تساوي مقداري هاتين القوتين تحصل حالة الاتزان. أي ان: $\vec{F}_E = \vec{F}_{B1}$


فتكون : $qE = q\,v\,B$


شكل (12-c)

عندئذ نحصل على العلاقة التالية: $E = v\,B$

وبما ان انحدار الجهد الكهربائي يساوي مقدار المجال الكهربائي أي

$(\Delta V / \ell = E)$

اذ ان ℓ تمثل طول الساق داخل المجال المغناطيسي فتكون: $\Delta V / \ell = v\,B$

وبهذا فان فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الساق يكون: $(\Delta V = v\,B\ell)$

ويعتمد فرق الجهد بين طرفي الساق على مقدار كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ والسرعة v التي تتحرك بها الساق داخل المجال المغناطيسي:

فالقوة الدافعة الحركية المتولدة على طرفي موصل طوله ℓ متحركا بسرعة v عموديا على اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ وتعطى بالعلاقة التالية: $\boxed{\varepsilon_{motional} = vB\ell}$

فكر:

لو انعكس اتجاه حركة الساق او انعكس اتجاه المجال المغناطيسي، هل تنعكس قطبية القوة الدافعة الكهربائية الحركية $(\varepsilon_{motional})$.



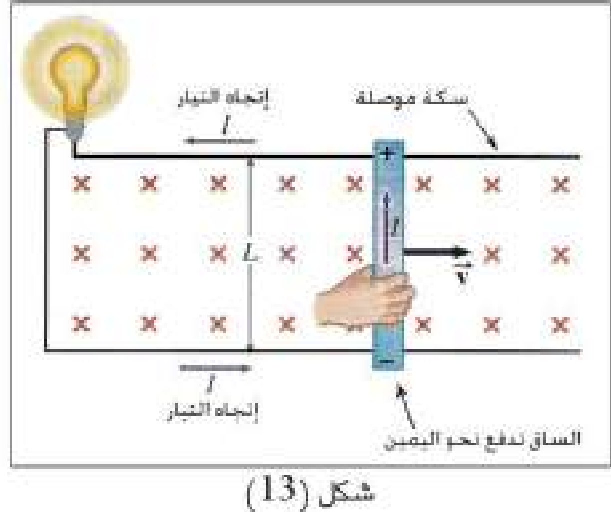
تعلم

لقد قام علماء الفضاء في عام 1996 بتجارب للافادة من المجال المغناطيسي الأرضي في توليد قوة دافعة كهربائية حركية ($\varepsilon_{motional}$) على طرفي سلك معدني طويل في أثناء حركة السلك نسبةً إلى المجال المغناطيسي الأرضي، إذ ربط أحد طرفي السلك في المركبة الفضائية كولومبيا وسحب في الفضاء.

6-2 التيار المحتث Induced Current

والآن يحق لك أن تتساءل، ما الأجراء العملي المطلوب اتخاذه لكي ينساب تيار محتث في الساق المتحركة داخل مجال مغناطيسي؟

للإجابة عن هذا السؤال ،نضع هذه الساق في دائرة كهربائية مقفلة، وتتم هذه العملية بجعل الساق تنزلق بسرعة V نحو اليمين على طول سكة موصلة بشكل حرف U مربوط معها مصباح كهربائي على التوالي، وتثبت السكة على منضدة أفقية لاحظ الشكل (13). وبهذا الترتيب نجد أن الساق والسكة والمصباح يشكلان دائرة كهربائية مقفلة.



شكل (13)

فاذا سُلط مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $\vec{B}$ باتجاه عمودي على مستوي تلك الدائرة (اتجاهه داخل الورقة مثلا كما مبين في الشكل (13))، ستتأثر الشحنات الموجبة في الساق بقوة مغناطيسية تدفعها نحو أحد طرفي الساق، والشحنات السالبة تدفع نحو طرفها الاخر، ولكن في هذه الحالة ستكون ($F_{B1} = qvB$) . وبما ان الدائرة مقفلة فان الشحنات تستمر في الحركة ولا تتجمع عند طرفي الساق، ونتيجة لذلك ينساب تيار في الدائرة يسمى بالتيار المحتث. ويدل على انسياب التيار في الدائرة توهج المصباح المربوط على التوالي مع السكة.

ولو طبقنا قاعدة الكف اليمنى على الشحنة الموجبة، يكون اتجاه التيار المحتث في الدائرة معاكسا لاتجاه دوران عقارب الساعة. فاذا كانت المقاومة الكلية في الدائرة (R) فان التيار المحتث في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} \rightarrow I = \frac{vB\ell}{R}$$

ونتيجة لانسياب التيار المحتث في الساق باتجاه عمودي على الفيض المغناطيسي تظهر قوة مغناطيسية (F_{B2}) تؤثر في هذه الساق تعطى بالعلاقة الآتية ($F_{B2} = I \ell B$) (والتي سبق أن درستها).

وبتطبيق قاعدة الكف اليمنى نجد ان القوة $\vec{F}_{B2}$ تؤثر باتجاه عمودي على الساق ونحو اليسار اي باتجاه معاكس لاتجاه السرعة V التي تتحرك بها الساق، لذا فإن هذه القوة تعمل على عرقلة حركة الساق، فتتسبب في تباطؤ حركة الساق. لاحظ الشكل (14). ولكي نجعل هذه الساق تتحرك بسرعة ثابتة تحت هذه الظروف، يتطلب تسليط قوة خارجية $\vec{F}_{pull}$ تسحب الساق نحو اليمين ومقدارها يعطى بالعلاقة التالية:

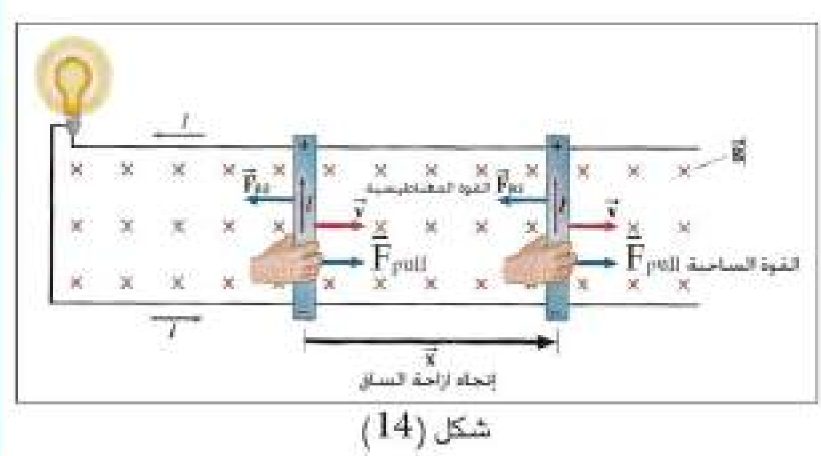
$$F_{pull} = F_{B2} = I\ell B = \left(\frac{vB\ell}{R}\right)B\ell = \frac{vB^2\ell^2}{R}$$

فكر؟

هل ينساب تيار محتث في الدائرة الموضحة في الشكل (15) اذا كان جوابك نعم، عين اتجاه التيار المحتث فيها.



شكل (15)



شكل (14)

7-2 الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة
Electromagnetic induction & principle of conservation of enrgy

إن عملية سحب الساق الموصلة بازاحة معينة داخل مجال مغناطيسي، تعني انه قد أنجز شغل في تحريك الساق، فما مصير الطاقة المختزنة في الساق نتيجة لذلك الشغل؟ أتبددت هذه الطاقة في الساق أم حفظت فيها أثناء حركة الساق في المجال المغناطيسي؟

للجواب عن ذلك عليك أن تتذكر معلوماتك عن القدرة (power) التي تعرف بأنها المعدل الزمني للشغل المنجز (P=Work / time) وبما ان القوة الساحبة قد سببت الحركة بسرعة V فان القدرة المكتسبة في الدائرة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = F_{pull} \cdot v = \frac{v^2B^2\ell^2}{R}$$

وهنا نجد أن الدائرة الكهربائية تتسبب في تبدد القدرة بشكل قدرة حرارية تظهر في المقاومة الكلية R في الدائرة (عناصر الدائرة واسلاك الربط)، والقدرة المتبددة ($P_{dissipated}$) في المقاومة التي ينساب فيها تيار محتث I_{ind} تعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{dissipated} = I^2R = \frac{v^2B^2\ell^2}{R}$$

لاحظ ان العلاقتين المذكورتين آنفاً متساويتان. ماذا يعني لك ذلك ؟

الجواب عن ذلك: يعني أن المعدل الزمني للشغل المنجز في تحريك الساق الموصلة خلال المجال المغناطيسي يساوي بالضبط القدرة المتبددة في المقاومة الكلية لهذه الدائرة بشكل حرارة او اي نوع من القدرة في الحمل. وهذا يعد تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

مثال (1)

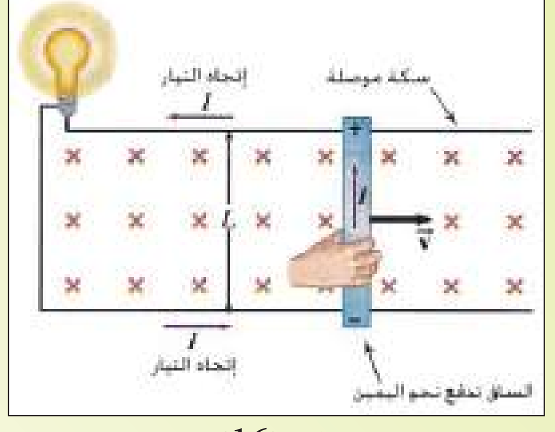
افرض أن ساقا موصلة طولها $1.6m$ انزلقت على سكة موصلة بانطلاق $5m/s$ باتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $0.8T$. وكانت مقاومة المصباح المربوط مع السكة على التوالي 128Ω لاحظ الشكل (16)

(اهمل المقاومة الكهربائية للساق والسكة) واحسب مقدار:

1- القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة.

2- التيار المحتث في الدائرة.

3- القدرة الكهربائية المجهزة للمصباح



شكل (16)

الحل

1- نطبق العلاقة التالية لحساب القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة:

$$\varepsilon_{motional} = vB\ell$$

$$\varepsilon_{motional} = 5m/s \times 0.8T \times 1.6m = 6.4V$$

2- نطبق العلاقة التالية لحساب التيار:

$$I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} = \frac{6.4V}{128\Omega} = 0.05A$$

3- نطبق العلاقة التالية لحساب القدرة المتبددة في مقاومة الدائرة:

$$P_{dissipated} = I^2R = (0.05A)^2 \times 128\Omega = 0.32W$$

8-2 الفيض المغناطيسي Magnetic Flux

لقد عرفنا أن العامل الأساسي لتوليد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي (Φ_B) الذي يخترق حلقة موصلة او ملف سلكي، ويمكن تحقيق ذلك بطرائق عدة (فضلاً عمّا تعلمناه وهو توافر الحركة النسبية بين الساق المغناطيسية والحلقة الموصلة او الملف السلكي) منها:

اولاً:

تغيير قياس الزاوية θ بين متجه المساحة $\overline{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$.

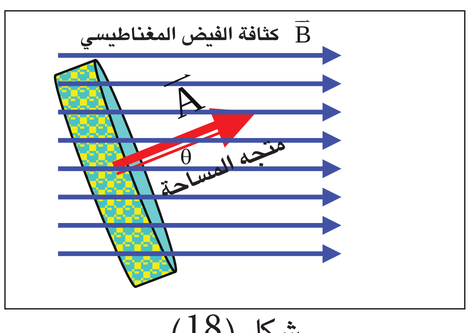
وابسط مثال عن ذلك دوران ملف نواة المولد الكهربائي داخل مجال مغناطيسي منتظم، لاحظ الشكل (17).



شكل (17)

(متجه المساحة $\overline{A}$ يمثله العمود المقام على المساحة A).

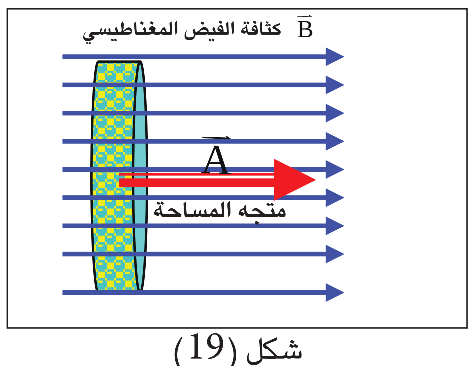
ولنفرض مجال مغناطيسي كثافة فيضه $\overline{B}$ منتظمة يخترق حلقة موصلة ومتجه مساحتها السطحية $\overline{A}$ يصنع زاوية حادة قياسها θ مع متجه $\overline{B}$ لاحظ الشكل (18) ففي هذه الحالة يعطى الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق تلك المساحة بالعلاقة الآتية:



شكل (18)

$$\Phi_B = \overline{B}.\overline{A} \text{ ، ومقداره: } \Phi_B = B\,A\cos\theta$$

فمركبة كثافة الفيض المغناطيسي $(B\cos\theta)$ العمودية على مستوى الحلقة هي التي تحدد مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

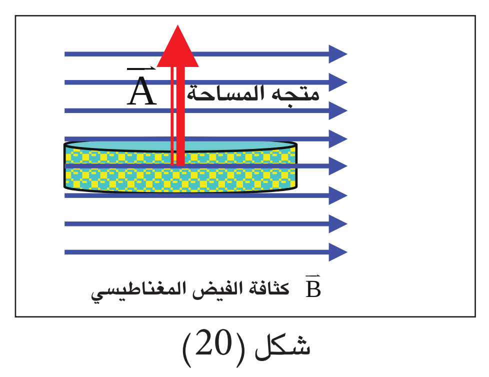


شكل (19)

أما إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$ عمودية على مستوى الحلقة لاحظ الشكل (19) فيكون الفيض المغناطيسي الذي يخترق مساحة الحلقة عندئذ باعظم مقدار وفي هذه الحالة تكون الزاوية θ بين متجه المساحة $\overline{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$ المنتظم تساوي صفراً $(\theta=0^{\circ})$.

فيكون: $\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 0^{\circ}$

$$\Phi_B = B\,A$$



شكل (20)

وإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$ بموازاة مستوى الحلقة لاحظ الشكل (20) ففي هذه الحالة لايتوافر فيض مغناطيسي يخترق الحلقة.

أي أن: الزاوية θ بين متجه المساحة $\overline{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$ المنتظم $(\theta=90^{\circ})$ فتكون:

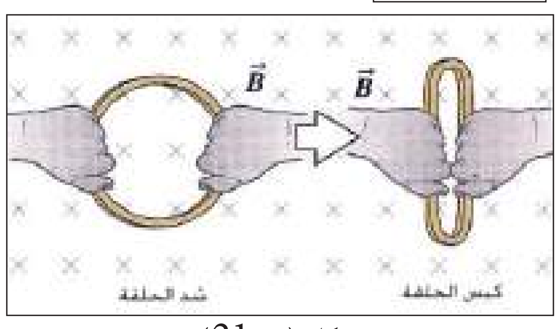
$$\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 90^{\circ} = 0$$

$$\boxed{\Phi_B = zero}$$

ثانياً:

تغيير مساحة الحلقة المواجهة للفيض المغناطيسي Φ_B المنتظم.

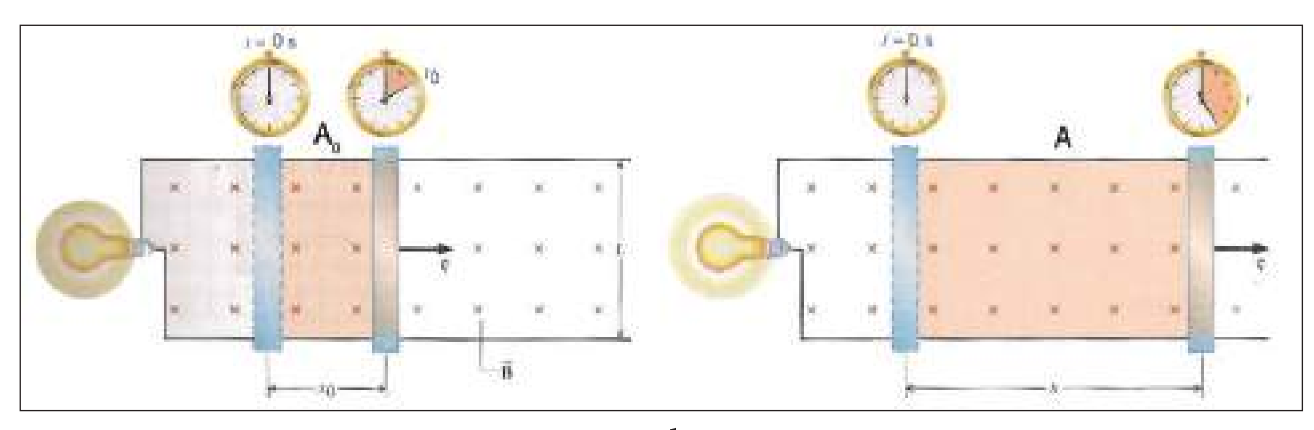
ويتم ذلك مثلا بكبس الحلقة أو شدها من جانبيها المتقابلين فتقل بذلك المساحة A، لاحظ الشكل (21-a)



شكل (21-a)

وبالإمكان زيادة المساحة وذلك بازاحة الساق الموضحة في الشكل (21-b) نحو اليمين فتتغير المساحة من $A_0 = X_0L$ الى $A = XL$ ومنها نجد ان $(\Delta A = A - A_0)$ وبهذا فإن التغير في الفيض المغناطيسي: يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\Delta\Phi_B = B.\Delta A$$

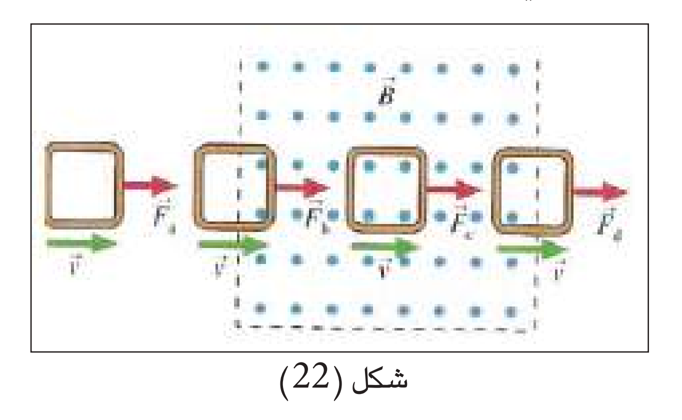


شكل (21-b)

ثالثا: بتحريك الحلقة الموصلة بمستوي عمودي على فيض مغناطيسي منتظم:

(دفع الحلقة لإدخالها في مجال مغناطيسي منتظم أو سحبها لإخراجها منه) لاحظ الشكل (22)

ينتج عن ذلك تغيرا في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن في أثناء دخول الحلقة في المجال المغناطيسي أو في أثناء خروجها من المجال.


شكل (22)

أن وحدة الفيض المغناطيسي Φ_B في النظام الدولي للوحدات هي : Weber ويرمز لها Wb

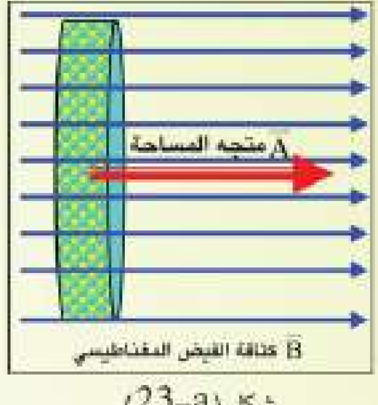
أما المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $(\Delta\Phi_B / \Delta t)$ في النظام الدولي للوحدات فيقاس بوحدات (Weber / second). عندئذ تكون القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) مقاسة بوحدة Volt.

مثال (2)

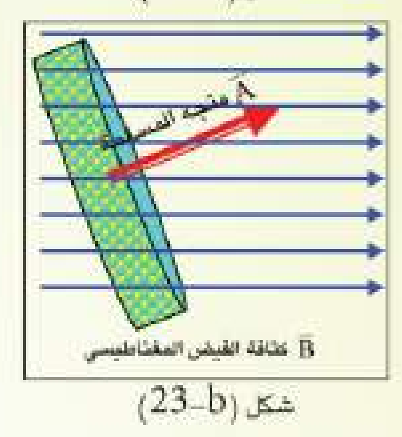
حلقة دائرية موصلة قطرها (0.4m) وضعت داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (B=0.5T) ويتجه باتجاه موازٍ لمتجه مساحة الحلقة $\overline{A}$.

a- احسب مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لاحظ الشكل (a-23).

b- مامقدار الفيض المغناطيسي، على فرض ان الحلقة دارت باتجاه معاكس دوران عقارب الساعة لحين صار متجه المساحة $\overline{A}$ يصنع زاوية ($\theta = 45^\circ$) مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي ($\overline{B}$). لاحظ الشكل (b-23).



شكل (a-23)



شكل (b-23)

الحل

ابتداءً نحسب مقدار مساحة الحلقة:

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.2)^2 = 12.56 \times 10^{-2} m^2$$

a- لحساب الفيض المغناطيسي عندما ($\theta = 0^\circ$) نطبق العلاقة الآتية:

$$\boxed{\Phi_B = BA}$$

$$\Phi_B = 0.5 \times 12.56 \times 10^{-2} = 6.28 \times 10^{-2}\ Wb$$

b- بعد دوران الحلقة زاوية قياسها 45^0 نطبق العلاقة الآتية:

$$\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 45^\circ$$

$$\Phi_B = 0.5 \times 12.56 \times 10^{-2}\ \cos 45^\circ$$

$$\Phi_B = 6.28 \times 10^{-2} \times 0.707 = 4.44 \times 10^{-2}\ Wb$$

9-2 قانون فراداي Faraday's Law

من كل المشاهدات المذكورة أنفاً أصبح معلوماً أنه "تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) وينساب تيار محتث في حلقة موصلة مقفلة اذا تغير الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن (لاي سبب كان)"، لقد وضع فراداي قانونا في الحث الكهرومغناطيسي لايحدد ولايشترط فيه الكيفية التي يجب أن يتم فيها حصول التغير في الفيض المغناطيسي. وقانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي يعد قانونا تجريبيا وينص على ان:

"مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في حلقة موصلة يتناسب طرديا مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة". والصيغة الرياضية لقانون فراداي هي:

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

* الاشارة السالبة في قانون فراداي وضعت على وفق قانون لنز الذي (سندرسه لاحقا) للدلالة على قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة. وهذه القطبية تحدد الاتجاه الذي ينساب فيه التيار المحتث في الحلقة او الملف.

بما أن مقدار التغير في الفيض المغناطيسي يعطى بالعلاقة التالية: $\Delta\Phi_B = \Delta(B\ A\cos\theta)$

فإن أي تغير يحصل في أحد العوامل الثلاث (كثافة الفيض المغناطيسي B، المساحة A، الزاوية θ) مع الزمن او جميعها، تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) واذا كان لدينا ملف سلكي بدلا من الحلقة عدد لفاته N فان قانون فراداي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

يتضح من قانون فراداي أنه تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) بمقدار أكبر كلما كان المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ الذي يخترق الحلقة أو الملف كبيرا، أما قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة فتعتمد على ذلك الفيض المغناطيسي فيما إذا كان متزايدا او متناقصا.

مثال (3)

الشكل (24) يوضح ملفاً يتألف من 50 لفة متماثلة ومساحة اللفة الواحدة $(20\ cm^2)$. فاذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة من (0.0T الى 0.8T) خلال زمن 0.4s احسب:

1- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف.

2- مقدارالتيار المنساب في الدائرة اذا كان الملف مربوط بين طرفي كلفانوميتر و المقاومة الكلية في الدائرة (80Ω).

الشكل (24)

الحل

1- نطبق العلاقة التالية لحساب مقدار القوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{A.\ \Delta B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -50\times(20\times10^{-4}).(0.8T - 0.0T)/0.4 = -0.2V$$

(الاشارة السالبة تدل على ان القوة الدافعة الكهربائية تعاكس المسبب الذي ولدها وهو المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي على وفق قانون لنز).

2- لحساب التيار نطبق العلاقة الآتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{0.2}{80} = 2.5\times10^{-3}A$$

تذكر

لكي ينساب تيار كهربائي في دائرة مقفلة، يجب أن يتوافر في تلك الدائرة مصدر للقوة الدافعة الكهربائية (تجهزها مثلا بطارية او مولد في تلك الدائرة).

- ولكي ينساب تيار محتث في دائرة مقفلة، مثل حلقة موصلة مقفلة او ملف (لاتحتوي بطارية او مولد)، يجب ان تتوافر قوة دافعة كهربائية محتثة، والتي تتولد بوساطة تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الحلقة لوحدة الزمن.

10-2 قانون لنز Lenz's Law

بعد دراستنا لقانون فراداي توضح لنا، كيف يمكننا عمليا توليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة .ولكن يبقى سؤال يطرح نفسه، هل أن تحديد اتجاه التيار المحتث في الدائرة الكهربائية له مغزى كبير ؟

وما هو تأثير المجال المغناطيسي الذي يولده التيار المحتث (المجال المغناطيسي المحتث) في العامل الأساسي الذي ولّد هذا التيار؟

لقد أجاب العالم لنز عن هذين السؤالين من خلال قانونه الشهير (يسمى قانون لنز)، والذي ينص على أن:

" التيار المحتث في دائرة كهربائية مقفلة يمتلك اتجاها بحيث ان مجاله المغناطيسي المحتث يكون معاكسا بتأثيره للتغير في الفيض المغناطيسي الذي ولد هذا التيار "

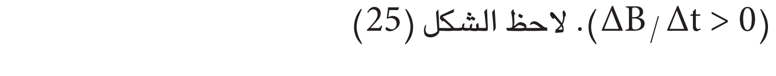
لذا يعد قانون لنز الطريقة الملائمة التي تعين فيها اتجاه التيار المحتث في حلقة موصلة مقفلة، ولكي نفهم قانون لنز عمليا وبوضوح أكثر، نبحث عن اجابة للسؤال:

كيف يمكن للتيار المحتث ان يولد مجالا مغناطيسيا محتثا يعاكس بتأثيره للمسبب الذي ولده؟

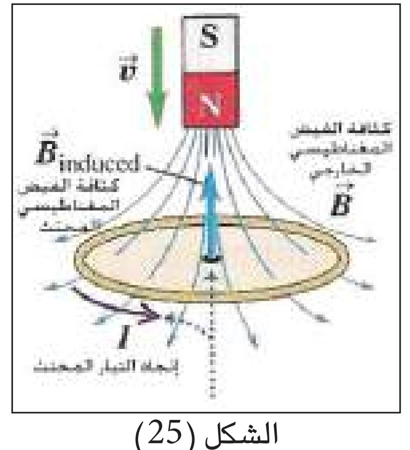
الاجابة عن ذلك، نعمل على تحريك ساق مغناطيسية بالقرب من وجه حلقة موصلة مقفلة وبموازاة محورها العمودي على وجهيها والمار من مركزها.

فإذا كان القطب الشمالي للساق مواجها للحلقة:

a– عند تقريب القطب الشمالي من وجه الحلقة يتسبب في ازدياد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة $(\Delta\Phi_B / \Delta t > 0)$. واتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر $\vec{B}$ نحو الأسفل ومتزايدة بالمقدار



$(\Delta B / \Delta t > 0)$. لاحظ الشكل (25)



الشكل (25)

لذا يكون اتجاه التيار المحتث معاكسا لاتجاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف). فيولد مجالا مغناطيسيا محتثا كثافته $(\vec{B}_{ind})$، اتجاهه نحو الاعلى. فيكون معاكسا لاتجاه الفيض المغناطيسي المؤثر نفسه، لكي يقاوم التزايد في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المحتث. اي يتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي N قطبا شمالياً N يتنافر مع القطب الشمالي المقترب منه (على وفق قانون لنز).

b– عند ابعاد القطب الشمالي عن وجه الحلقة يتسبب في تناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة. واتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر $\vec{B}$ نحو الاسفل. ومتناقصة بالمقدار $(\Delta\Phi_B / \Delta t < 0)$. لاحظ الشكل (26)

الشكل (26)

لذا يكون اتجاه التيار المحتث مع اتجاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف). فيولد فيضا مغناطيسيا محتثا كثافته $(\vec{B}_{ind})$ اتجاهه نحو الاسفل، فيكون باتجاه الفيض المغناطيسي المؤثر $\vec{B}$ نفسه، لكي يقاوم التناقص في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المحتث. اي يتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي قطبا جنوبياً S لكي يتجاذب مع القطب الشمالي



N المبتعد عنه (على وفق قانون لنز).

لعلك تتساءل ما الفائدة العملية من تطبيق قانون لنز؟

يفيدنا قانون لنز في تعيين اتجاه التيار المحتث في دائرة كهربائية مقفلة، كما وأنه يعد تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

لأنه في كلتا الحالتين (اقتراب المغناطيس او ابتعاد المغناطيس نسبة للحلقة) يتطلب إنجاز شغل ميكانيكي، ويتحول الشغل المنجز إلى نوع أخر من الطاقة في الحمل (عندما تكون الحلقة مربوطة بحمل) ويعد ذلك تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

تذكر

عليك التمييز بين كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي $\vec{B}$ الذي يتسبب تغير فيضه في توليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة وذلك على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.

وبين كثافة الفيض المغناطسيسي المحتث $(\vec{B}_{ind})$ (الذي ولده التيار المحتث) والذي يعاكس بتأثيره التغير بالفيض المغناطيسي الخارجي (العامل المسبب لتوليد التيار المحتث) على وفق قانون لنز.

فكر:

افرض أن ساقا مغناطيسية سقطت سقوطا حرا نحو الأسفل وهي بوضع شاقولي، وتحتها حلقة واسعة من النحاس مقفلة ومثبتة افقيا، (باهمال مقاومة الهواء). لاحظ الشكل (27).



الشكل (27)

1– أتسقط هذه الساق بتعجيل يساوي تعجيل الجاذبية الارضية ؟ أم أكبر منه ؟ أم أصغر؟

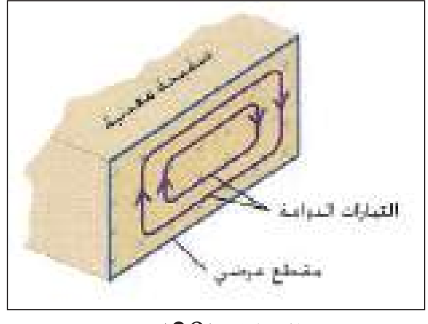
2– عين اتجاه القوة المغناطيسية التي تؤثر فيها الحلقة على الساق في أثناء اقتراب الساق من الحلقة.

11-2 التيارات الدوّامة Eddy Currents



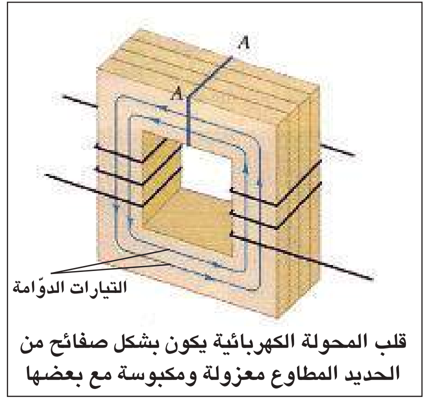
الشكل (28)

نلاحظ في العديد من الأجهزة الكهربائية [المحركات، المقاييس الكهربائية مثل الميزان الموضح في الشكل (28)، كاشفات المعادن، مكابح بعض عربات القطارات أو السيارات وغيرها] وجود صفائح معدنية ثابتة توضع مواجهة لفيض مغناطيسي متغيرا مع الزمن أو تكون تلك الصفائح متحركة نسبة لمجال مغناطيسي منتظم، لذا ستتعرض تلك الصفائح دائما لفيض مغناطيسي متغير مع الزمن وعلى وفق قانون الحث الكهرومغناطيسي لفراداي تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) وينساب تيار محتث في تلك الصفائح وهذه التيارات تتخذ مسارات دائرية مقفلة ومتمركزة تقع في مستوى كل صفيحة وبمستويات عمودية على الفيض المغناطيسي Φ_B المسبب لها، لاحظ الشكل (29)، تسمى هذه التيارات **بالتيارات الدوّامة** (وهي تشبه التيارات الدوامة المتولدة في الماء والهواء).



الشكل (29)

من مضار التيارات الدوامة انها تتسبب في فقدان طاقة بشكل حرارة في الأجهزة أو في قلب الحديد للملفات التي تتولد فيها على وفق قانون جول. ولغرض تقليل مقدار الطاقة المتبددة بشكل حرارة كما في المحولات (مثلا) يصنع القلب بشكل صفائح من الحديد المطاوع، ترتب بموازاة الفيض المغناطيسي Φ_B المتغير الذي يخترقها، وتكون هذه الصفائح معزولة عن بعضها ومكبوسة كبسا شديدا، لاحظ الشكل (30) فتزداد بذلك المقاومة الكهربائية الى حد كبير داخل تلك الصفائح ويقل تبعا لذلك مقدارالتيارات الدوامة.

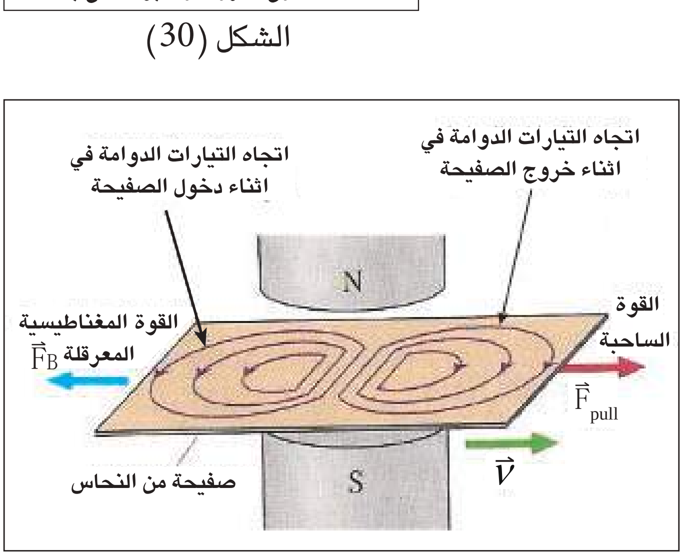


قلب المحولة الكهربائية يكون بشكل صفائح من الحديد المطاوع معزولة ومكبوسة مع بعضها

الشكل (30)

ولعلك تتسائل عن سبب نشوء التيارات الدوامة في الموصلات؟ وما تاثير المجالات المغناطيسية التي تولدها ؟ وكيفية استثمارها في التقنيات الحديثة؟

لتوضيح ذلك لاحظ الشكل (31) الذي يبين صفيحة من النحاس سحبت أفقيا بين قطبي مغناطيس كهربائي كثافة فيضه $\vec{B}$ منتظمة تتجه نحو الأسفل. ونتيجة للحركة النسبية بين الصفيحة المعدنية والفيض المغناطيسي تتولد تيارات دوامة في سطح الصفيحة على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.



الشكل (31)

ففي أثناء خروج الجزء الأيمن للصفيحة من المجال المغناطيسي، يتناقص الفيض المغناطيسي خلالها، لذا يكون اتجاه التيارات الدوامة باتجاه دوران عقارب الساعة، لكي تولد فيضا مغناطيسيا محتثا (كثافته $\vec{B}_{ind}$) يعاكس المسبب الذي ولد تلك التيارات على وفق قانون لنز. فيكون اتجاه الفيض المغناطيسي المحتث نحو الاسفل (لكي يعمل على تقوية المجال المغناطيسي المؤثرالمتناقص). أما جزء الصفيحة الايسر، فيكون اتجاه التيارات الدوامة فيه باتجاه معاكسا لدوران عقارب الساعة للسبب نفسه.

وبالنتيجة تظهر قوة مغناطيسية ($\vec{F}_B$) تتجه نحو اليساروتكون معاكسة للقوة الساحبة فهي قوة معرقلة لاتجاه الحركة، (اي تعاكس القوة الساحبة للساق ($\vec{F}_{pull}$).

لتوضيح كيفية تقليل مقدار التيارات الدوامة في الموصلات نجري النشاط الآتي:

نشاط (2)

يبين كيفية تقليل تأثير التيارات الدوامة المتولدة في الموصلات.

أدوات النشاط:

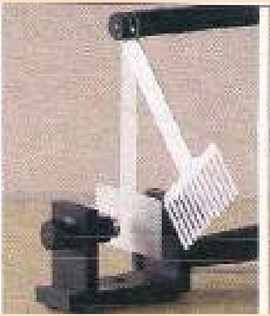
بندولان متماثلان كل منهما بشكل صفيحة مصنوعة من مادة موصلة ضعيفة التمغنط (ليست فيرومغناطيسية من الألمنيوم مثلا) مثبتة بطرف ساق خفيفة من المادة نفسها. إحدى الصفيحتين مقطعة بشكل شرائح معزولة عن بعضها مثل أسنان المشط والأخرى كاملة (غير مقطعة). مغناطيس دائم قوي (كثافة فيضه عالية)، حامل.

خطوات النشاط:

- نزيح الصفيحتين بإزاحة متساوية إلى أحد جانبي موقع استقرارهما.
- نترك الصفيحتين في آن واحد لتهتز كل منهما بحرية بين قطبي المغناطيس

ماذا تتوقع ؟ أيهتز البندولان بالسعة نفسها ؟ أم يختلفان ؟ وما سبب ذلك ؟

الجواب عن ذلك يتوضح من مشاهدتنا للبندولين: إذ نجد أن البندول الذي يتألف من الصفيحة الكاملة (غير المقطعة) يتوقف عن الحركة في اثناء مروره خلال الفجوة بين القطبين المغناطيسيين، في حين الصفيحة المقطعة بشكل أسنان المشط تمر بين القطبين المغناطيسيين وتعبر إلى الجانب الآخر وتستمر بالاهتزاز على جانبي منطقة المجال المغناطيسي ذهابا وايابا ولكن بتباطؤ قليل. لاحظ الشكل (32).

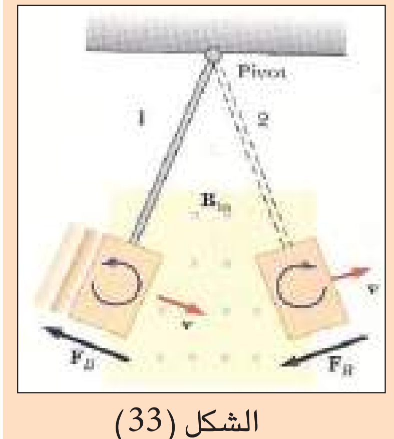






الشكل (32)

نستنتج من النشاط:

تتولد تيارات دوامة كبيرة المقدار في الصفيحة غير المقطعة في أثناء دخولها المجال المغناطيسي بين القطبين فتكون باتجاه معين، نتيجة حصول تزايداً في الفيض المغناطيسي الذي يخترقها لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ (على وفق قانون فراداي)، وتكون باتجاه معاكس في اثناء خروجها من المجال، نتيجة حصول تناقصا في الفيض المغناطيسي $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ فتتولد في الحالتين قوة مغناطيسية $\vec{F}_B$ تعرقل حركة الصفيحة (على وفق قانون لنز) وبالنتيجة تتلاشى سعة اهتزاز الصفيحة وتتوقف عن الاهتزاز، لاحظ الشكل (33). في حين ان التيارات الدوامة المتولدة في الصفيحة المقطعة بشكل شرائح تكون صغيرة المقدار جدا فيكون تأثيرها في اهتزاز الصفيحة ضعيفا جدا.



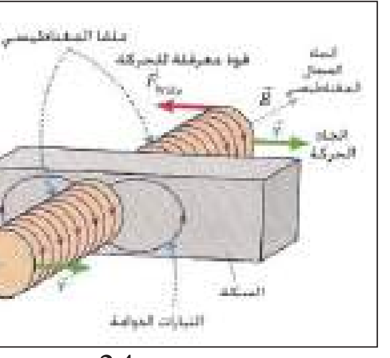
الشكل (33)

فكر؟

ما مصير طاقة اهتزاز الصفيحة الكاملة (غير المقطعة) داخل مجال مغناطيسي بعد توقفها عن الاهتزاز؟

تستثمر التيارات الدوامة في مكابح بعض القطارات الحديثة إذ توضع ملفات سلكية (كل منها يعمل كمغناطيس كهربائي) مقابل قضبان السكة، لاحظ الشكل (34) ففي الحركة الاعتيادية لا ينساب تيار كهر بائي في تلك الملفات، ولايقاف القطار عن الحركة تغلق الدائرة الكهربائية لتلك الملفات فينساب تيار كهربائي في تلك الملفات وهذا التيار يولد مجالا مغناطيسيا قويا يمر خلال قضبان الحديد للسكة، ونتيجة للحركة النسبية بين المجال المغناطيسي والقضبان تتولد تيارات دوامة فيها.

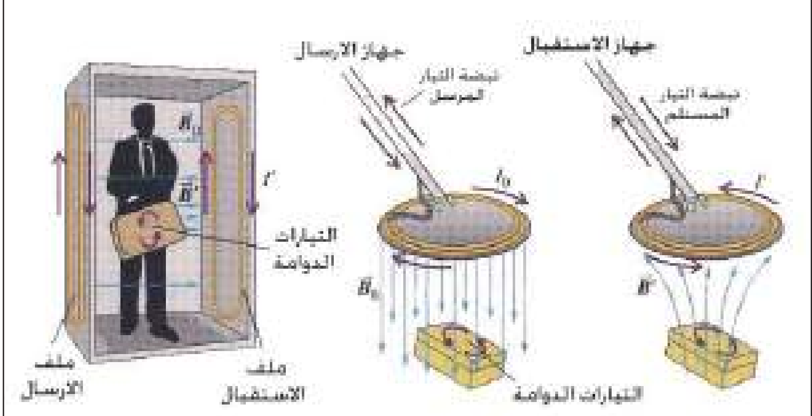
وعلى وفق قانون لنز تولد هذه التيارات مجالا مغناطيسيا يعرقل تلك الحركة وهو السبب الذي ولدها. فيتوقف القطار عن الحركة.



شكل (34)

وكذلك تستثمر التيارات الدوامة في كاشفات المعادن المستعملة حديثا في نقاط التفتيش الامنية وخاصة في المطارات. يعتمد عمل كاشفات المعادن على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي والتي تسمى غالبا الحث النبضي (pulse induction).

يحتوي جهاز كاشف المعادن على ملفين سلكيين أحدهما يستعمل كمرسل والاخر مستقبل، لاحظ الشكل (35) يسلط فرق جهد متناوب على طرفي ملف الارسال فينساب في الملف تيار متناوب والذي بدوره يولد فيضاً مغناطيسيا



شكل (35) (للاطلاع)

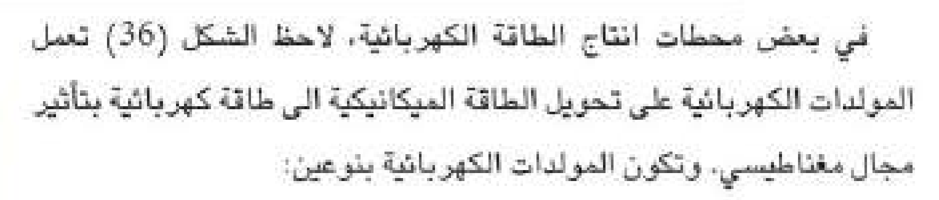
متناوبا، وهذا الفيض المتغير مع الزمن يحث تيارا في ملف الاستقبال ويقاس مقدار هذا التيار ابتداءا في الحالة التي لا تتوافر عندها اية مادة بين الملفين عدا الهواء.

فعند مرور أي جسم موصل معدني (لايشترط أن يكون بشكل صفيحة) بين المستقبل والمرسل، سوف تتولد تيارات دوامة في ذلك الجسم المعدني فتعمل التيارات الدوامة المحتثة في الجسم المعدني على عرقلة التغير الحاصل في الفيض المغناطيسي المتولد في ملف الاستقبال وهذا يتسبب في تقليل التيار الابتدائي المقاس في المستقبل عما كان عليه في حالة وجود الهواء بين الملفين، وبهذا التأثير يمكن الكشف عن وجود القطع المعدنية في الحقائب اليدوية او في ملابس الشخص.

تستعمل كاشفات المعادن أيضا للسيطرة على الإشارات الضوئية المنصوبة في تقاطعات بعض الطرق البرية.

12-2 المولدات الكهربائية Electric generators


شكل (36)



في بعض محطات انتاج الطاقة الكهربائية، لاحظ الشكل (36) تعمل المولدات الكهربائية على تحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية بتأثير مجال مغناطيسي. وتكون المولدات الكهربائية بنوعين:

1- مولد التيار المتناوب (ac) (احادي الطور او ثلاثي الطور).

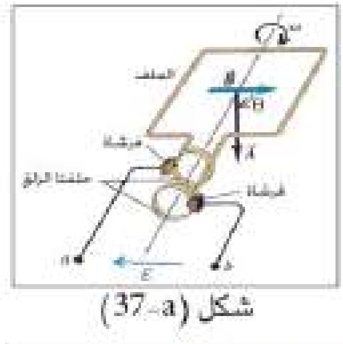


2- مولد التيار المستمر (dc).

1- مولد التيار المتناوب (ac-احادي الطور) Singl-phase (ac) generator

تربط مع طرفي ملف النواة حلقتان معدنيتان تسميان بحلقتي الزلق وتوصلان مع الدائرة الخارجية بوساطة فرشتان من الكاربون (كما عرفت في دراستك السابقة)

الشكل (37-a) يبين ملفاً سلكياً لنواة مولد كهربائي متناوب أحادي الطور تدور داخل مجال مغناطيسي منتظم.



شكل (37-a)

وعند دوران الملف بسرعة زاوية ω منتظمة داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه B منتظمة ومساحة اللفة الواحدة منه A الشكل (37-b) (وكما علمت سابقا). والفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة من الملف عند أية لحظة زمنية يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\Phi_B = BA\cos\theta$$

شكل (37-b)

تقاس السرعة الزاوية ω بوحدات rad / s . ويقاس التردد f بوحدة Hertz يرمز لها (Hz)

وبما أن المعدل الزمني للتغير في الإزاحة الزاوية يمثل السرعة الزاوية $(\omega = \Delta\theta / \Delta t)$ وعندما تكون السرعة الزاوية منتظمة فإن $(\theta = \omega t)$ فأن الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة عندئذ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\Phi_B = B\,A\cos(\omega t)$$

فهو دالة جيب تمام $\cos(\omega t)$ تتغير مع الزمن.

أما المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة فيعطى بالعلاقة الآتية:

علماً بأن: $\left[\frac{\Delta[\cos(\omega t)]}{\Delta t} = -\omega\sin(\omega t)\right]$

$$\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -B\,A\,\omega\sin(\omega t)$$

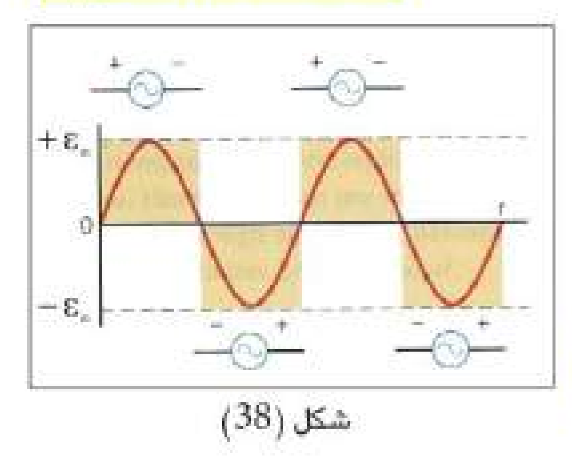
وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي فإن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف تكون:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -N\{-BA\omega\sin(\omega t)\}$$

ومن ثم تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي ملف بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind} = N\,B\,A\,\omega\sin(\omega t)$$





شكل (38)

أن المعادلة المذكورة آنفاً يتبين فيها أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تتغير (Sinusoidally جيبيا) مع الزمن فهي دالة جيبية، لاحظ الشكل (38).

والفولطية الانية (اللحظية) ε تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max}\sin(\omega t)$$

إذ تأخذ بالازدياد تدريجيا من الصفر عند $(t = 0)$، حتى تصل مقدارها الاعظم $\varepsilon_{(max)}$ بعد ربع دورة فيكون عندها: $(\omega t = \pi / 2)$ $\sin(\omega t) = \sin\pi / 2 = 1$

وعندها $\varepsilon_{instantinus} = \varepsilon_{(max)}$ أي ان $\varepsilon_{(max)} = N\,B\,A\,\omega$

ويسمى المقدار الاعظم للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{max}) **بذروة الفولطية المحتثة**.

ثم تتناقص تدريجيا حتى تصل الصفر مرة أخرى في اللحظة التي تكون عندها $(\omega t = \pi)$.

ثم يأخذ مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ε_{ind} بالإزدياد تدريجيا بالاتجاه السالب حتى تصل مقدارها

الاعظم في اللحظة التي عندها تكون $(\omega t = 3\pi / 2)$ وبعدها يهبط مقدارها تدريجيا إلى الصفر عندما يكمل الملف دورة كاملة أي عند اللحظة التي عندها تكون $(\omega t = 2\pi)$.

من الشكل (38) نجد أن قطبية القوة الدافعة الكهربائية تنعكس مرتين في الدورة الواحدة، وعند ربط طرفي الملف بدائرة خارجية، ذات المقاومة الكلية R.

فان التيار في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الاتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{N\,B\,A\,\omega \sin(\omega t)}{R}$$

والمقدار الاعظم للتيار المحتث يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_{(max)} = N\,B\,A\,\omega / R$$

ويكون التيار الخارج من ملف هذا المولد، تيار متناوب جيبي الموجة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$I = I_{max} \sin(\omega t)$$

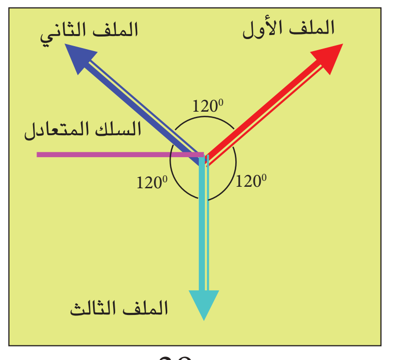
اذ ان : (I) تمثل التيار الآني او يسمى التيار اللحظي.

I_{max} تمثل المقدار الاعظم للتيار

مولد تيار متناوب ذي الاطوار الثلاثة Three phase (ac) Generator

يتألف من ثلاثة ملفات حول النواة تربط ربطا نجميا لاحظ الشكل (39)، تفصل بينها زوايا متساوية قياس كل منها (120^{0}) وتربط أطرافها الأخرى مع سلك يسمى بالسلك المتعادل (او الخط الصفري) والتيار الخارج من هذا المولد ينقل بثلاثة خطوط.

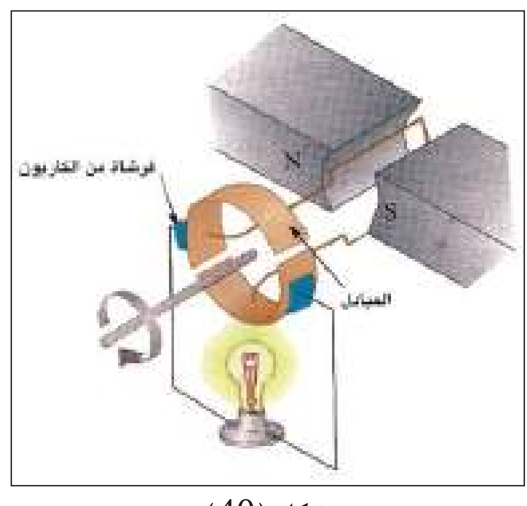
ومثل هذا المولد يجهز تيارا متناوبا ذا مقدار اكبر من التيار الذي يجهزه مولد التيار المتناوب احادي الطور.



شكل (39)

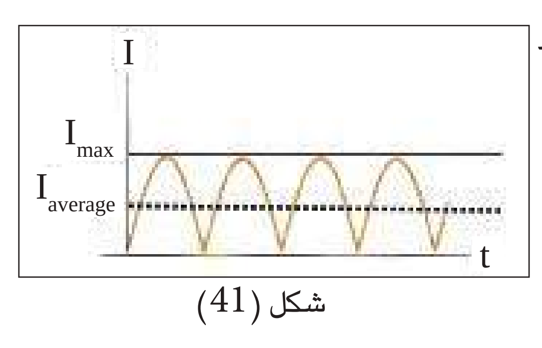
2- مولد التيار المستمر (dc- generator)

لكي نجعل التيار المنساب في الدائرة الخارجية للملف باتجاه واحد (يحافظ على اتجاهه ثابتا)، يتطلب أن نرفع الحلقتين المعدنيتين (حلقتا الزلق) ونضع في طرفي الملف حلقة معدنية واحدة تتألف من نصفين معزولين عن بعضهما عزلا كهربائيا تسميان المبادل، لاحظ الشكل (40) ويتماسان مع فرشاتين من الكاربون لغرض ربط الملف مع الدائرة الخارجية، ويكون عدد قطع المبادل ضعف عدد ملفات المولد.



شكل (40)

ويكون التيار الناتج من هذا المولد، تيار نبضي الشكل، لاحظ الشكل (41)



شكل (41)

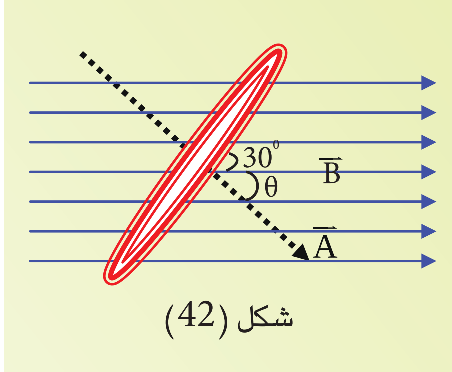
ويعطى المقدار المتوسط ($I_{average}$) لهذا التيار بالعلاقة الآتية:

$$I_{average} = 0.636\ I_{max}$$

ولجعل التيار الخارج من مولد التيار المستمر ذي الملف الواحد أقرب الى تيار النضيدة (ثابت المقدار تقريبا) نزيد عدد الملفات حول النواة تحصر بينها زوايا متساوية.

مثال (4)

في الشكل (42) ملف سلكي يتألف من 500 لفة دائرية قطرها (4cm) وضع بين قطبي مغناطيس، ذي فيض مغناطيسي منتظم، عندما كان الفيض المغناطيسي يصنع زاوية 30^0 مع مستوى اللفة، فإذا تناقصت كثافة الفيض المغناطيسي خلال اللفة بمعدل $0.2T/s$. احسب معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف.



شكل (42)

الحل

في العلاقة التالية للفيض المغناطيسي $\Phi_B = B\,A\cos\theta$

تكون الزاوية θ في القانون اعلاه محصورة بين متجه المساحة $\overline{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$
والزاوية المعطاة بالسؤال تقع بين مستوي الملف وكثافة الفيض المغناطيسي $\overline{B}$

لذا فإن $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -N\ A\cos\theta \times (\Delta B/\Delta t)$$

نحسب مقدار مساحة الملف:

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (4\times10^{-4}) = 12.56\times10^{-4}\,m^2$$

$$\varepsilon_{ind} = -N\ A\cos\theta \times (\Delta B/\Delta t)$$

$$= -500 \times 12.56\times10^{-4}\ m^2 \times \cos 60^\circ \times (-0.2T/s)$$

$$\varepsilon_{ind} = +628\times10^{-4} = +0.0628\ V$$

من المعروف أن المحرك الكهربائي وسيلة تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية، فبدلا من التيار الذي تولده حلقة موصلة مقفلة تدور في مجال مغناطيسي، تزود هذه الحلقة بتيار كهربائي بوساطة مصدر للفولطية (بطارية مثلاً).

الشكل (43) فتعمل القوى المغناطيسية المؤثرة في الحلقة على تدويرها بتأثير عزم يسمى عزم المزدوج داخل مجال مغناطيسي.

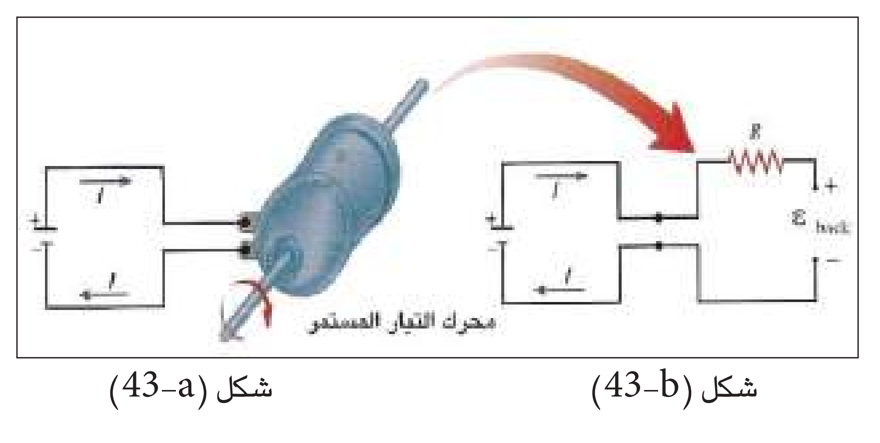
يتركب محرك التيار المستمر من الاجزاء نفسها التي يتركب منها مولد التيار المستمرولكن يعمل عكس عمل المولد، اذ يحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية بتوافر مجال مغناطيسي.

القوة الدافعة الكهربائية المضادة في المحرك Back Electromotive force (ε_{back}):

لا تستغرب إذا عرفت أن المحرك الكهربائي يعمل عمل المولد الكهربائي في أثناء دوران نواته (في أثناء اشتغاله)، فعند دوران ملف النواة داخل المجال المغناطيسي يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف، وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة على طرفي ملف نواة المحرك تسمى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة (ε_{back}) .

وتسميتها بالمضادة لانها تكون معاكسة للمسبب الذي ولدها على وفق قانون لنز. وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{back} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$



شكل (43-a) شكل (43-b)

الدائرة الكهربائية المبينة على يسار الشكل (43-a) توضح انسياب تيار كهربائي في ملف المحرك نتيجة للفولطية المستمرة المسلطة $V_{applied}$ بين طرفي ملف نواة المحرك والذي بدوره يتسبب في توليد عزم المزدوج الذي يعمل على تدوير الملف.

أما الدائرة التي على يمين شكل (43-b) توضح تولد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} على طرفي ملف النواة في أثناء دورانه داخل المجال المغناطيسي على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.

يعتمد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} على:

سرعة دوران النواة (أي المعدل الزمني لتغير الفيض المغناطيسي للفة واحدة) وعدد لفات الملف ومساحة اللفة وكثافة الفيض المغناطيسي.

وقد تسأل، ما الذي يحدد مقدار التيار المنساب في دائرة المحرك؟

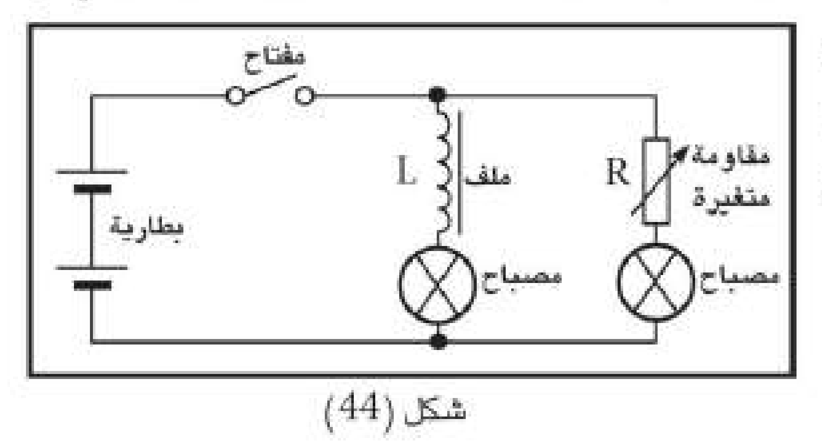
الجواب: أن الفرق بين الفولطية الموضوعة $V_{applied}$ والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} في دائرة المحرك هو الذي يحدد مقدار التيار المنساب في تلك الدائرة والذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{V_{applied} - \varepsilon_{back}}{R}$$

14-2 المحاثة Inductance

لقد تعلمت حتى الآن، أن شرط تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في ملف، هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق ذلك الملف. وعرفت أن توافر الحركة النسبية بين الساق المغناطيسية والملف، تتسبب في حصول ذلك التغير، والآن يحق لك أن تسأل هل ان التغير في الفيض المغناطيسي الناتج عن تغير التيار المنساب في الملف، يمكنه توليد قوة دافعة كهربائية في ذلك الملف ؟

لتوضيح ذلك لاحظ الدائرة الكهربائية في الشكل (44) والمربوط فيها مصباحان متماثلان مربوطان على التوازي مع بطارية، والمقاومة المتغيرة R تمتلك مقدارا مساويا لمقدار مقاومة الملف L مربوطة على التوالي مع أحد المصباحين، والملف مربوط على التوالي مع المصباح الثاني، (والملف في جوفه قلب من الحديد المطاوع لزيادة كثافة فيضه المغناطيسي لكي يكون تأثيره واضحا) والسؤال الذي يتبادر الى ذهننا ؟



شكل (44)

هل تتوقع أن يكون توهج المصباحين توهجا بالمقدار نفسه لحظة اغلاق المفتاح في الدائرة؟

وهل أن المصباحين يصلان حالة تساوي شدة التوهج في آن واحد ؟

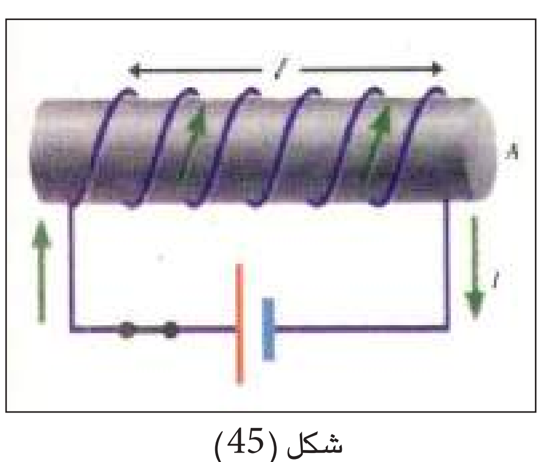
لتوضيح ذلك، بعد إغلاق المفتاح بمدة زمنية معينة حينها نشاهد ان كلا المصباحين يتوهجان توهجا متساويا في الشدة بعد وصول التيار مقداره الثابت، ولكن لايصلان ذلك في آن واحد، بل هنالك تأخر ملحوظ في الزمن المستغرق لتوهج المصباح المربوط على التوالي مع الملف توهجا كاملا عن الزمن المستغرق لتوهج المصباح المربوط على التوالي مع المقاومة R توهجاً كاملاً. ولعلك تتسائل لماذا هذا التأخر؟

الجواب عن ذلك هو: أن التباطؤ الذي حصل في توهج المصباح المربوط مع الملف يعزى إلى صفة الملف التي تسمى تأثير المحاثة للملف (او الحث الذاتي للملف)، ومثل هذا الملف يسمى بالمحث.

15-2 الحث الذاتي Self Inductance

لوربطنا دائرة كهربائية تتألف من ملف وبطارية ومفتاحا على التوالي، كالتي موضحة في الشكل (45). نجد انه لحظة اغلاق مفتاح هذه الدائرة يتزايد فيها مقدار التيار من الصفر إلى مقداره الثابت، الشكل (46)، والتغير في التيار المنساب في الملف يتسبب في حصول تغير في الفيض المغناطيسي خلاله، والتغير في الفيض المغناطيسي بدوره يولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف تعاكس ذلك التغير تسمى قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية (ε)، والتي بدورها تقاوم التغيرالمسبب في تولدها على وفق قانون لنز (وهو التغير الحاصل في التيار المنساب في الملف نفسه)، تسمى هذه الظاهرة **بظاهرة الحث الذاتي**. وتعرّف بانها:

عملية تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في ملف نتيجة تغير مقدار التيار المنساب لوحدة الزمن في الملف نفسه.



شكل (45)

حساب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية (ε_{ind}):

نفرض انسياب تيار كهربائي مستمر (I) في الملف، فان ذلك يسبب فيضا مغناطيسيا مقداره Φ_B يخترق كل لفة من لفات الملف ويتناسب مقداره طرديا مع مقدار التيار. أي إن: $N\Phi_B \alpha I$

فيكون: $N\Phi_B = LI$

إذ إن: L هي ثابت التناسب وتمثل معامل الحث الذاتي للملف، وإذا تغير التيار بمعدل زمني $(\Delta I / \Delta t)$، فإن الفيض المغناطيسي المتولد يتغير بمعدل زمني $(\Delta\Phi_B / \Delta t)$

شكل (46) يوضح ان زمن تلاشي التيار من مقداره الثابت الى الصفر أصغر من زمن تنامي التيار من الصفر الى مقداره الثابت.

فيكون: $N \times (\Delta\Phi_B / \Delta t) = L \times (\Delta I / \Delta t)$

وبما أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف، يتناسب مقدارها طرديا مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $(\Delta\Phi / \Delta t)$ على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي $\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$:

فتكون:

$$\varepsilon_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

معامل الحث الذاتي لملف هو " نسبة القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الى المعدل الزمني للتغير في التيار المنساب في الملف نفسه". يعطى بالعلاقة الآتية:

$$L = \frac{\varepsilon_{ind}}{-(\Delta I / \Delta t)}$$

يقاس معامل الحث الذاتي L في النظام الدولي للوحدات بوحدات (Volt . second / Ampere) وتسمى Henry

نسبة الى العالم هنري مكتشف ظاهرة الحث الذاتي وتختصر (H) . وفي الغالب يقاس بوحدة (micro.Henry) او (milli. Henry)

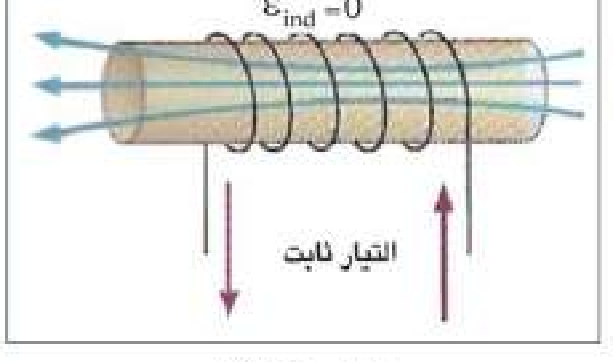
وحدة Henry هي وحدة معامل الحث الذاتي لملف، اذا تغير التيار فيه بمعدل (Ampere / second) تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفيه مقدارها فولطا واحدا.

يتوقف مقدار معامل الحث الذاتي (L) لملف على:

عدد لفات الملف وحجم الملف والشكل الهندسي للملف والنفوذية المغناطيسية للوسط في جوف الملف.

(يزداد مقدار معامل الحث الذاتي للملف عند ادخال قلب من الحديد المطاوع في جوف الملف).

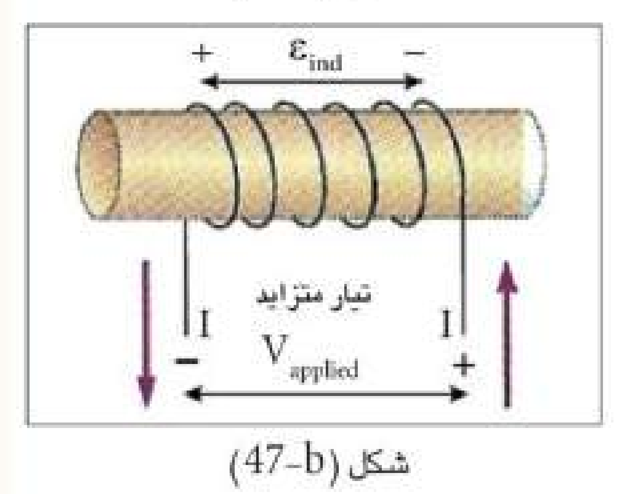
لتكون ظاهرة الحث الذاتي اكثر وضوحا عليك التمعن في الاشكال الآتية:



شكل (47-a)

الشكل (a - 47): يبين لنا انسياب تيار ثابت المقدار خلال الملف يولد هذا التيار فيضا مغناطيسيا ثابت المقدار خلال الملف، لذا فهو لايتسبب في تولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف. أي إن: $\varepsilon_{ind} = -L\,\Delta I / \Delta t = 0$

فيعطى صافي الفولطية بالعلاقة: $V_{applied} = I_{const}.R$



شكل (47-b)

الشكل (b-47): يبين انسياب تيار متزايد في الملف $(\Delta I / \Delta t) > 0$ ، فيولد التيار المتزايد فيضا مغناطيسيا خلال الملف متزايدا ايضا، ونتيجة لذلك تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف بقطبية معاكسة للفولطية على طرفي الملف فهي تعرقل التزايد في التيار.

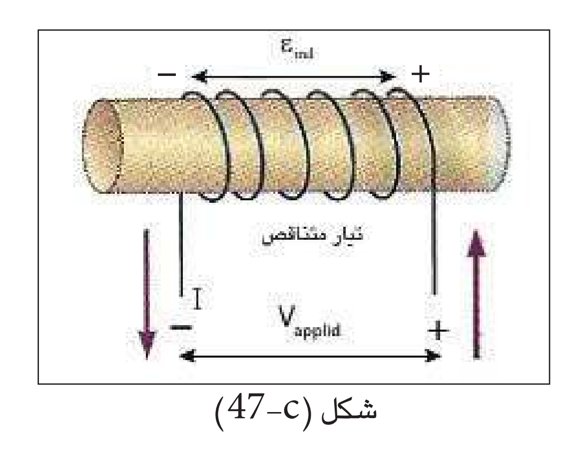
لذا يكون زمن تنامي التيار من الصفر إلى مقداره الثابت كبيرا، وعندئذ يعطى صافي الفولطية في الدائرة بالعلاقة الآتية:

$$V_{net} = V_{applied} - \varepsilon_{ind}$$

إذا كانت: V_{app} تمثل الفولطية الموضوعة على الملف. وإذا كانت مقاومة الملف R فإن العلاقة المذكورة آنفاً تكون:

$$V_{applied} - \varepsilon_{ind} = I_{inst}.R$$

الشكل (47-c): يبين انسياب تيار متناقص $(\Delta I / \Delta t) < 0$ في الملف، فيولد التيارالمتناقص فيضا مغناطيسيا خلال الملف متناقصا ايضا ونتيجة لذلك تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف. وتكون بالقطبية نفسها للفولطية الموضوعة على الملف وعندئذ يعطى صافي الفولطية في الدائرة بالعلاقة الآتية:



شكل (47-c)

$$V_{applied} + \varepsilon_{ind} = I_{inst}.R$$

فيكون زمن تلاشي التيار من مقداره الثابت الى الصفر صغيرا نسبة إلى زمن تناميه وذلك بسبب ظهور فجوة هوائية بين جزئي المفتاح تجعل مقاومة الدائرة كبيرة جدا.

هل تعلم

ان المقاومات المصنوعة من الأسلاك تلف لفا غير حثيٍّ. فهي تلف عادة بشكل طبقات، إذ يكون اتجاه لف النصف الأول من السلك (احدى الطبقات) معاكسا لاتجاه لف النصف الثاني من السلك (الطبقة التي تليها)، وينتج عن ذلك ان التاثيرات الحثية المتولد في النصف الاول من السلك تلغي التأثيرات الحثية للنصف الثاني، فهي تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه وسبب ذلك أن التيار ينساب في نصفي السلك باتجاهين متعاكسين.

16-2 الطاقة المختزنة في المحث Potential Energy in Inductance

لقد درست في الفصل الأول من هذا الكتاب أن الطاقة الكهربائية PE المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة تتناسب طردياً مع مربع الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} \times \frac{q^2}{C}$$

إذ إن : q مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة، وان C مقدار سعة المتسعة.

أما الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث فتكون بشكل طاقة مغناطيسية، وهذه الطاقة تتناسب طرديا مع مربع التيار الثابت (I).

فتعطى الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث بالعلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} L\, I^2$$

إذ إن : L يمثل مقدار معامل الحث الذاتي للمحث

I يمثل مقدار التيار المنساب في المحث

ومن الجدير بالذكر أن المحث يعد ملفاً مهمل المقاومة، وهذا يعني أن المحث لايتسبب في ضياع طاقة .

نشاط (3)

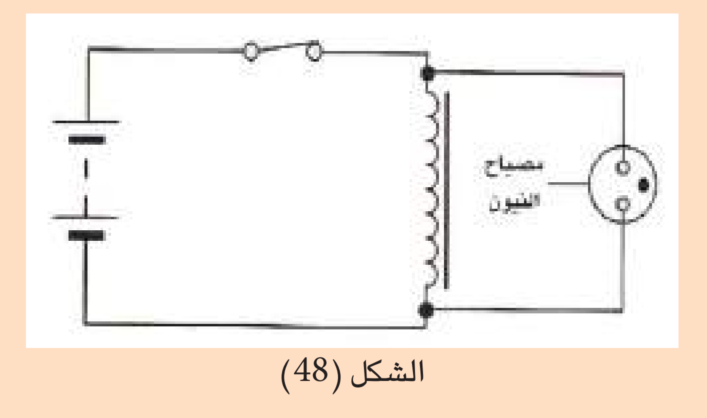
يوضح تولد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية على طرفي الملف

أدوات النشاط:

بطارية ذات فولطية (9V)، مفتاح ، ملف سلكي في جوفه قلب من الحديد المطاوع، مصباح نيون يحتاج (80V) ليتوهج

خطوات النشاط:

- نربط الملف والمفتاح والبطارية على التوالي مع بعض.
- نربط مصباح النيون على التوازي مع الملف. لاحظ الشكل (48).
- نغلق دائرة الملف والبطارية بوساطة المفتاح، لانلاحظ توهج المصباح.
- نفتح دائرة الملف والبطارية بوساطة المفتاح نلاحظ توهج مصباح النيون بضوء ساطع لبرهة قصيرة من الزمن، على الرغم من فصل البطارية عن الدائرة.



الشكل (48)

نستنتج من النشاط:

أولاً: عدم توهج مصباح النيون لحظة اغلاق المفتاح كان بسبب الفولطية الموضوعة على طرفيه لم تكن كافية لتوهجه، وذلك لان نمو التيار من الصفر الى مقداره الثابت يكون بطيئا نتيجة لتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف تعرقل المسبب لها على وفق قانون لنز.

ثانياً: توهج مصباح النيون لحظة فتح المفتاح كان بسبب تولد فولطية كبيرة على طرفيه تكفي لتوهجه. وتفسير ذلك هو نتيجة التلاشي السريع للتيار خلال الملف تتولد على طرفي الملف قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية كبيرة المقدار، فيعمل الملف في هذه الحالة كمصدر طاقة يجهز المصباح بفولطية تكفي لتوهجه.



ملف معامل حثه الذاتي (2.5mH) وعدد لفاته (500) لفة، ينساب فيه تيار مستمر (4A)، احسب:

1- مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة.

2- الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للملف.

3- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف إذا انعكس اتجاه التيار خلال (0.25s).

الحل

1- لدينا العلاقة:

$$N\Phi_B = LI$$

$$500 \times \Phi_B = 2.5 \times 10^{-3} \times 4$$

$$\Phi_B = 2 \times 10^{-5}\ Wb$$

2- نحسب الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للملف.

من العلاقة:

$$PE = \frac{1}{2} L\, I^2$$

$$PE = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 10^{-3} \times (4)^2 = 0.02J$$

3- بانعكاس التيار يكون: $(\Delta I = -8A)$

$$\varepsilon_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -2.5 \times 10^{-3} \times \frac{(-8)}{0.25} = 0.08\ V$$

17-2 الحث المتبادل Mutual Induction

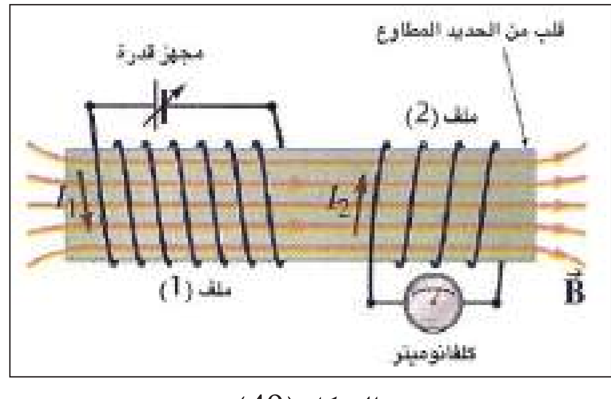
عند وضع سلكين موصلين مستقيمين متجاورين ينساب في كل منهما تيارا مستمرا، فالتيار المنساب في أحد السلكين يولد حوله مجالا مغناطيسيا يؤثر بقوة في التيار المنساب في الموصل الاخر.

وفي هذا الفصل نود أن نعرف هل يحصل التأثير نفسه بين حلقتين موصلتين مقفلتين متجاورتين (او بين ملفين متجاورين) لو تغير التيار المنساب في أحدهما ؟

الجواب عن ذلك: أن التغير في التيار المنساب في أحد هذين الملفين بإمكانه أن يحث تيارا في الملف الأخر.

ولتوضيح ذلك: نفترض وجود ملفين سلكيين متجاورين لاحظ الشكل (49) فالتيار المنساب في الملف الابتدائي (الملف رقم (1)) يولد مجالا مغناطيسيا $\vec{B}$ وفيضه المغناطيسي $\vec{\Phi}_{(B1)}$ يخترق الملف الثانوي (الملف رقم (2)).

فاذا تغير التيار المنساب في الملف رقم (1) لوحدة الزمن يتغير تبعا لذلك الفيض المغناطيسي $\vec{\Phi}_{(B2)}$ الذي اخترق الملف رقم (2) لوحدة الزمن، وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة $\varepsilon_{ind(2)}$ في الملف رقم (2) ذو عدد اللفات N_2.



الشكل (49)

$$\varepsilon_{ind\,(2)} = -N_2 \frac{\Delta\Phi_{B(2)}}{\Delta t}$$

ولقد تبين عمليا ان الفيض المغناطيسي الذي يخترق كل لفة من لفات الملف الثانوي يتناسب طرديا مع التيار المنساب في الملف الابتدائي (I_1) فهذا يعني ان: $\Phi_{B(2)} \,\alpha\, I_1$

وبهذا يكون الفيض المغناطيسي الذي يخترق جميع لفات الملف الثانوي ذي عدد اللفات N_2 يتناسب طرديا مع التيار المنساب في الملف الابتدائي (I_1) فهذا يعني ان: $(N_2\Phi_{B(2)}) \,\alpha\, I_1$

وثابت التناسب يسمى معامل الحث المتبادل M بين الملفين المتجاورين فيكون: $N_2\Phi_{B(2)} = M\, I_1$

وعندما يتغير التيار في الملف الابتدائي بمعدل زمني $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ يتغير الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي بمعدل زمني $(N_2\Delta\Phi_{B(2)} / \Delta t)$ وبما ان:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -(N_2\, \Delta\Phi_{B(2)} / \Delta t)$$

فيمكن أن تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

اذا كان الملفان في الهواء الشكل (49) فان معامل الحث المتبادل M بين الملفين يعتمد على:

ثوابت الملفين (L_1 و L_2) أي (حجم كل ملف والشكل الهندسي لكل ملف وعدد لفات كل ملف والنفوذية المغناطيسية للمادة في جوف كل ملف)، ويعتمد كذلك على وضعية كل ملف والفاصلة بين الملفين وفي حالة وجود قلب من الحديد ومغلق بين الملفين فإن معامل الحث المتبادل M بين الملفين يعتمد فقط على:

ثوابت الملفين (L_1 و L_2) نتيجة لحصول الاقتران المغناطيسي التام بين الملفين كما في المحولة الكهربائية.

فان معامل الحث المتبادل بين الملفين في هذه الحالة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$M = \sqrt{L_1 \times L_2}$$

تستثمر ظاهرة الحث المتبادل في استعمال جهاز التحفيز المغناطيسي خلال الدماغ (TMS) transcranial magnetic stimulation


الشكل(50)

إذ يسلط تيار متغير مع الزمن على الملف الابتدائي الذي يمسك على منطقة دماغ المريض (كما موضح في الشكل (50) فالمجال المغناطيسي المتغير المتولد بوساطة هذا الملف يخترق دماغ المريض مولدا قوة دافعة كهربائية محتثة فيه. وهذه بدورها تولد تيارا محتثا يشوش الدوائر الكهربائية في الدماغ وبهذه الطريقة تعالج بعض أعراض الأمراض النفسية مثل الكآبة.

مثال (6)

ملفان متجاوران ملفوفين حول حلقة مقفلة من الحديد المطاوع، ربط بين طرفي الملف الابتدائي بطارية فرق الجهد بين طرفيها (100V) ومفتاح على التوالي. فاذا كان معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي (0.5H). ومقاومته (20 Ω) احسب مقدار:

1- المعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة اغلاق الدائرة.

2- معامل الحث المتبادل بين الملفين اذا تولدت قوة دافعة كهربائية محتثة بين طرفي الملف الثانوي مقدارها (40V) لحظة اغلاق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي.

3- التيار الثابت المنساب في دائرة الملف الابتدائي بعد اغلاق الدائرة.

4- معامل الحث الذاتي للملف الثانوي.

الحل

1- في دائرة الملف الابتدائي لدينا العلاقة التالية:

يكون: $(I_{inst} = 0)$ لحظة اغلاق الدائرة.

$$V_{app} = L\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + I_{ins}R$$

$$100 = 0.5\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + 0$$

$$\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \frac{100}{0.5} = 200A/s$$

2- لحساب معامل الحث المتبادل بين الملفين لدينا العلاقة التالية:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

بما ان التيار في دائرة الابتدائي يكون متزايداً $(\Delta I / \Delta t) > 0$ لحظة اغلاق المفتاح فان (ε_{ind}) تكون باشارة سالبة:

$$-40 = -M \times 200$$

$$M = \frac{-40}{-200} = 0.2H$$

3- لحساب التيار الثابت:

$$I_{const} = \frac{V_{app}}{R} = \frac{100}{20} = 5A$$

4- بما ان الترابط المغناطيسي بين الملفين يكون تاماً في حالة الملفين الملفوفين حول حلقة من الحديد المطاوع فان:

$$M = \sqrt{L_1 \times L_2}$$

$$0.2 = \sqrt{0.5 \times L_2}$$

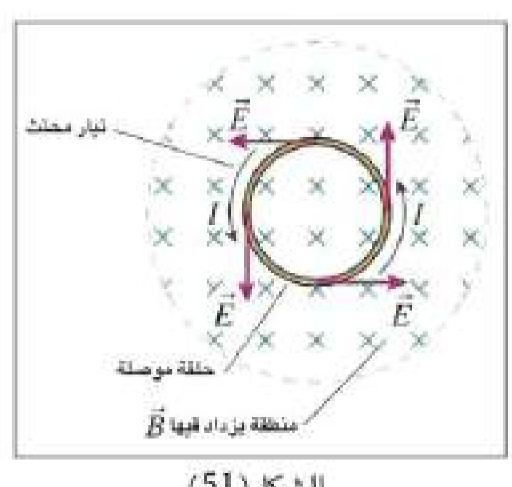
$$0.04 = 0.5 \times L_2$$

$$L_2 = \frac{0.04}{0.5} = 0.08H$$

18-2 المجالات الكهربائية المحتثة Induced electric fields

من خلال دراستنا لموضوع الحث الكهرومغناطيسي عرفنا كيف أن تيارا محتثا ينساب في حلقة موصلة مقفلة. ولكن بقي الجزء المهم في هذا الموضوع مفقودا حتى الآن، والذي يقودنا الى مجموعة من الاسئلة، منها ما مسببات هذا التيار؟ وما القوى التي تدفع الشحنات الكهربائية لتحريكها خلال تلك الحلقة ؟.

وللإجابة عن تلك الاسئلة نقول إن الذي يتسبب في حركة الشحنات هي المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية. فالقوى المغناطيسية تكون مسؤولة عن توليد القوة الدافعة الكهربائية الحركية في الموصل المتحرك داخل مجال مغناطيسي ثابت. ولكن هذه القوى لاتعطينا أي تفسير للتيارات المحتثة في حلقة موصلة مغلقة ثابتة في موضعها نسبة إلى المجال مغناطيسي متغير المقدار.



الشكل(51)

الشكل (51) يوضح حلقة موصلة مقفلة موضوعة في حالة سكون داخل فيض مغناطيسي متزايد في المقدار، لذا ينساب فيها تيار محتث على وفق قانون فاراداي في الحث الكهرومغناطيسي، أما اتجاه هذا التيار فيتحدد على وفق قانون لنز. فيكون باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، وحركة الشحنات الكهربائية داخل الحلقة هو نتيجة لتولد مجال كهربائي يؤثر فيها باتجاهات مماسية دائما، المجال الكهربائي هذا يسمى المجال الكهربائي المحتث.

والمجال الكهربائي المحتث هذا يتولد نتيجة للتغيرات الحاصلة في الفيض المغناطيسي لوحدة الزمن الذي يخترق الحلقة.

لقد عرفنا سابقا أن المجال الكهربائي المحتث هو العامل الأساسيّ في نشوء التيار المحتث في الحلقة الموصلة الساكنة نسبة إلى فيض مغناطيسي متغير المقدار. وبما أن كل المجالات الكهربائية التي درستها سابقا كانت تنشأ بوساطة الشحنات الكهربائية الساكنة ومثل هذه المجالات تسمى مجالات كهربائية مستقرة (electrostatic fields) أما المجالات الكهربائية التي تنشأ بوساطة التغيرات الحاصلة في الفيض المغناطيسي فتسمى مجالات كهربائية غير المستقرة (Nonelectrostatic fields).

هل تعلم

من التطبيقات العملية للمجالات الكهربائية المحتثة:

a- السيارات المهجَّنة التي تمتلك كلا المحركين، محرك الكازولين والمحرك الكهربائي والتيارات المحتثة الناتجة في دائرتها الكهربائية تستثمر في اعادة شحن بطارية السيارة. الشكل (52)



الشكل (52)

b- في بعض الطائرات التي تستثمر التيارات المحتثة المتولدة في دائرتها الكهربائية على ابقاء محركها في حالة اشتغال حتى بعد عطل أي نظام كهربائي فيها. الشكل (53)



الشكل (53)

19-2 بعض التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

1- بطاقة الائتمان Credit Card

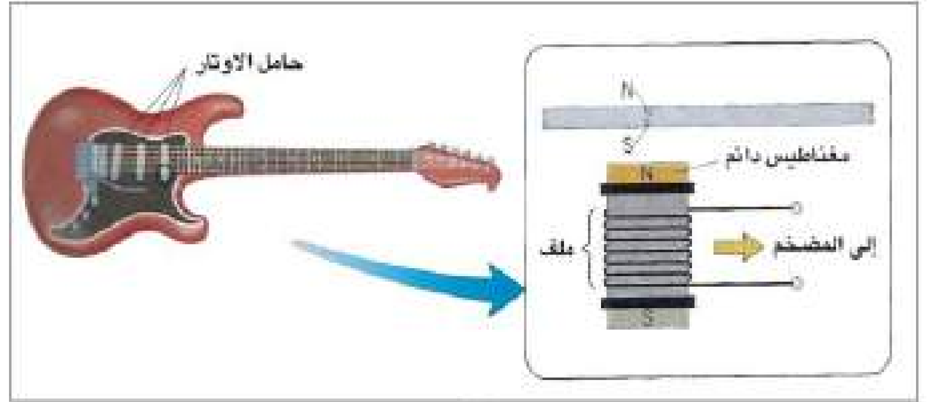
عند تحريك بطاقة الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) الممغنطة أمام ملف سلكي يستحث تيار كهربائي ثم يضخم هذا التيار ويحول إلى نبضات للفولطية تحتوي المعلومات. لاحظ الشكل (54)



الشكل (54)

2 – القيثار الكهربائي Electric Guitar

اوتار القيثار الكهربائي المعدنية (فهي مصنوعة من مواد فيرومغناطيسية) تتمغنط في اثناء اهتزازها بوساطة ملفات سلكية يحتوي كل منها بداخله ساقا مغناطيسية، توضع هذه الملفات في مواضع مختلفة تحت الاوتار المعدنية للقيثار الكهربائي وعندما تهتز هذه الاوتار يستحث تيار كهربائي متناوب تردده يساوي تردد الاوتار. ثم يوصل الى مضخم. لاحظ الشكل (55)

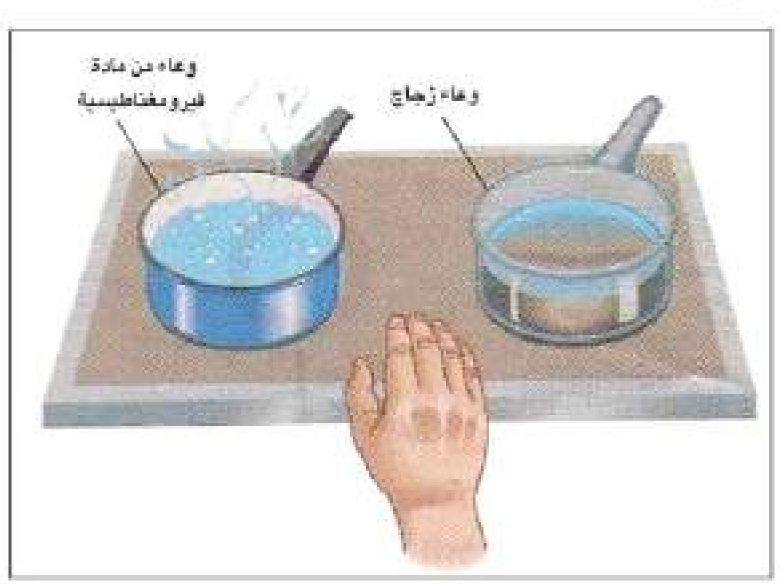


الشكل (55) للاطلاع

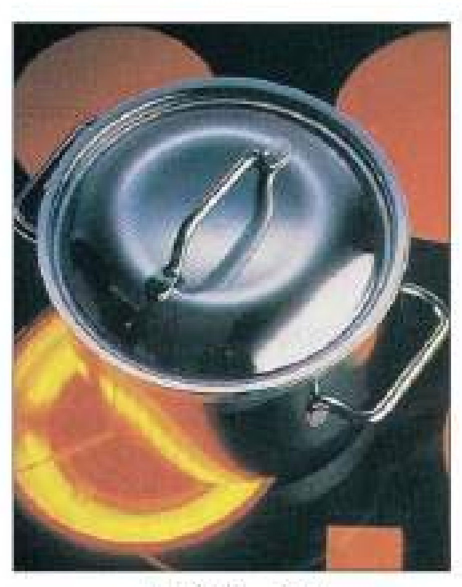
3- الطباخ الحثي Induction stove

تستثمر ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي في عمل هذا النوع من الطباخات، إذ يوضع تحت السطح العلوي للطباخ ملف سلكي ينساب فيه تيار متناوب ويحث هذا التيار مجالا مغناطيسيا متناوبا ينتشر نحو الخارج وبمرور المجال المغناطيسي خلال قاعدة الإناء إذا كان مصنوعا من المعدن تتولد تيارات دوامة في قاعدة الإناء المعدني لاحظ الشكل (56-a)، وبذلك تسخن قاعدة الإناء فيغلي الماء الذي يحتويه.

أما إذا كان الوعاء من الزجاج فلاتتولد تيارات دوامة في قاعدته لان الزجاج مادة عازلة ولايسخن الماء الذي يحتويه لاحظ الشكل (56-b). والمدهش في الأمر أنه لو لمسنا السطح العلوي للطباخ الحثي لانشعر بسخونة السطح.



الشكل (56-b)

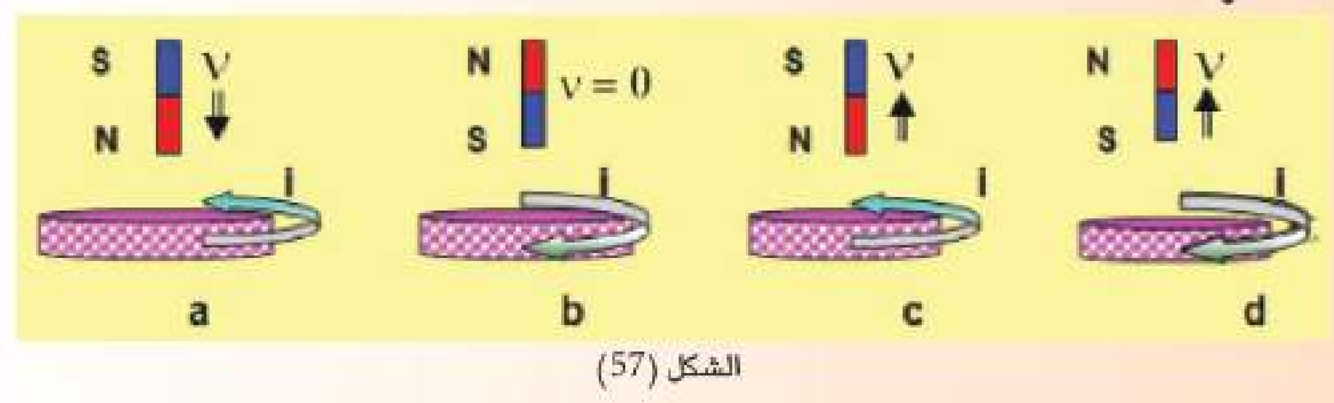


الشكل (56-a)

أسئلة الفصل الثاني

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- أي من الاشكال الاتية لاحظ الشكل (57) يتبين فيه الاتجاه الصحيح للتيار الكهربائي المحتث في الحلقة الموصلة:



الشكل (57)

2- في الشكل (58) حلقة مصنوعة من النحاس وضعت في مستوي الورقة وموصولة مع المقاومة R سلط مجال مغناطيسي باتجاه عمودي على مستوي الورقة، خارجا من الورقة. في أي حالة من الحالات التالية ينساب تيار محتث في المقاومة R اتجاهه من اليسار نحو اليمين:

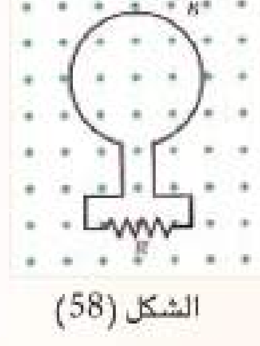


a- عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

b- عند تناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

c- عند ثبوت الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

d- جميع الاحتمالات المذكورة آنفاً.



الشكل (58)

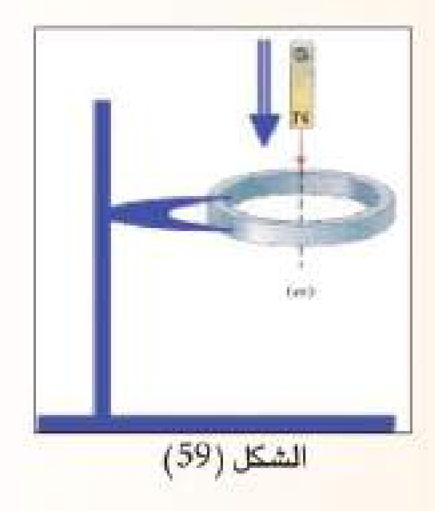
3- عند سقوط الساق المغناطيسية خلال حلقة واسعة من الألمنيوم موضوعة أفقيا بوساطة حامل تحت الساق لاحظ الشكل (59). فإذا نظرت إلى الحلقة من موقع فوقها وباتجاه السهم لتحديد اتجاه التيار المحتث فيها. فإن اتجاه التيار المحتث في الحلقة يكون:

a- دائما باتجاه دوران عقارب الساعة.

b- دائما باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة.

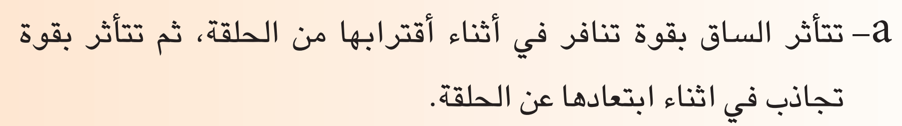
c- باتجاه دوران عقارب الساعة، ثم يكون صفرا للحظة، ثم يكون باتجاه معاكسا لدوران عقارب الساعة.

d- باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، ثم يكون صفرا للحظة، ثم يكون باتجاه دوران عقارب الساعة.

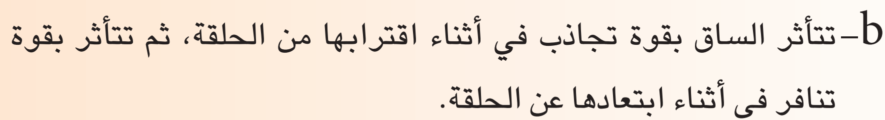


الشكل (59)

4- عند سقوط الساق المغناطيسية خلال حلقة من الألمنيوم غير مقفلة موضوعة أفقيا تحت الساق لاحظ الشكل (60):



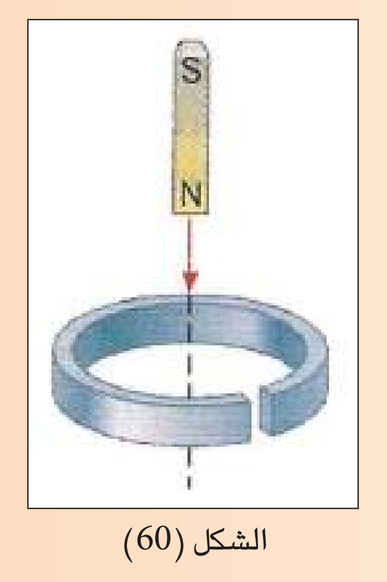
a- تتأثر الساق بقوة تنافر في أثناء أقترابها من الحلقة، ثم تتأثر بقوة تجاذب في اثناء ابتعادها عن الحلقة.



b- تتأثر الساق بقوة تجاذب في أثناء اقترابها من الحلقة، ثم تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة.

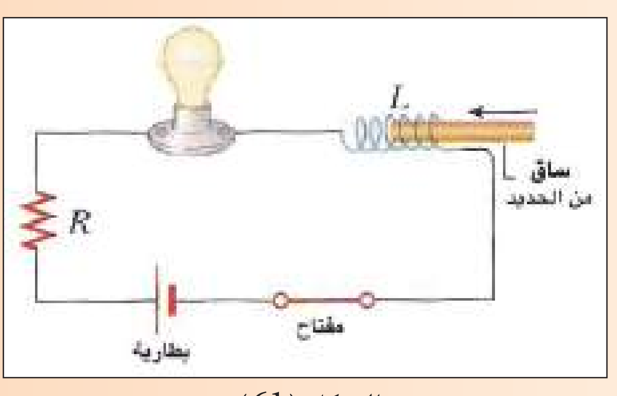
c- لاتتأثر الساق بأية قوة في أثناء اقترابها من الحلقة، أو في أثناء ابتعادها عن الحلقة.

d- تتأثر الساق بقوة تنافر في أثناء اقترابها من الحلقة وكذلك تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة.



الشكل (60)

5- في الشكل (61) ملف محلزن مجوف مربوط على التوالي مع مصباح كهربائي ومقاومة وبطارية ومفتاح، وعندما كان المفتاح في الدائرة مغلقا كانت شدة توهج المصباح ثابتة. إذا أدخلت ساق من الحديد المطاوع في جوف الملف فان توهج المصباح في أثناء دخول الساق:



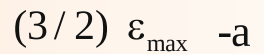
الشكل (61)

a- يزداد. b- يقل. C- يبقى ثابتا. d- يزداد ثم يقل.

6- عندما يدور ملف دائري حول محور شاقولي موازي لوجه الملف داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه منتظمة B افقية لاحظ الشكل (62)، تولد أعظم مقدار للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة ε_{max} . وعند زيادة عدد لفات الملف إلى ثلاثة أمثال ماكانت عليه وتقليل قطر الملف إلى نصف ماكان عليه ومضاعفة التردد الدوراني للملف.



فإن المقدار الاعظم للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة سيكون:

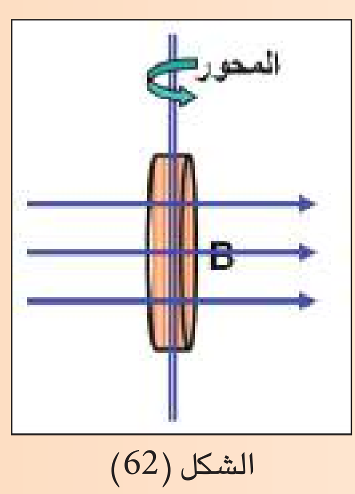


a- $(3/2)\ \varepsilon_{max}$

b- $(1/4)\ \varepsilon_{max}$

c- $(1/2)\ \varepsilon_{max}$

d- $(3)\ \varepsilon_{max}$



الشكل (62)

7- تتحقق ظاهرة الحث الذاتي في ملف معين عندما:

a- تسحب ساق مغناطيسية بعيدا عن وجه الملف.

b- يوضع هذا الملف بجوار ملف آخر ينساب فيه تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن.

c- ينساب في هذا الملف تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن

d- تدوير هذا الملف داخل مجال مغناطيسي منتظم.

8- مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي ساق موصلة تتحرك نسبة إلى مجال مغناطيسي في حالة سكون لايعتمد على:

a- طول الساق. b- قطر الساق. c- وضعية الساق نسبة للفيض المغناطيسي.

d- كثافة الفيض المغناطيسي.

9- عندما تقل السرعة الزاوية لدوران ملف نواة المحرك الكهربائي نتيجة لازدياد الحمل الموصول مع ملفه تتسبب في هبوط مقدار:

a- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة. b- الفولطية الموضوعة على طرفي ملف النواة.

C- التيار المنساب في دائرة المحرك. d- فرق الجهد الضائع (IR) بين طرفي ملف النواة.

10- يمكن ان يستحث تيار كهربائي في حلقة موصلة ومقفلة في العمليات التالية ما عدا واحدة منها. فالعملية التي لايستحث فيها التيار هي:

a- حلقة موصلة ومقفلة تدور حول محور موازٍ لمستواها وعمودي على فيض مغناطيسي منتظم.

b- وضع حلقة موصلة ومقفلة ومتجه مساحتها موازٍ لفيض مغناطيسي متغير لوحدة الزمن.

c- وضع حلقة موصلة ومقفلة ومتجه مساحتها عموديا على فيض مغناطيسي متغير لوحدة الزمن.

d- حلقة موصلة ومقفلة، متجه مساحتها موازٍ لفيض مغناطيسي منتظم كبست من جانبيها المتقابلين.

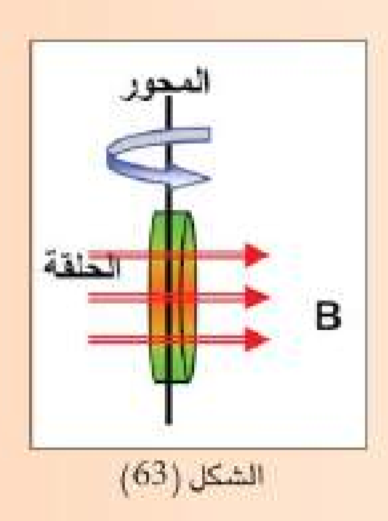
11- وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسي هي:

a- weber

b- weber / s

c- weber / m^2

d- weber.s



الشكل (63)

12- في الشكل (63)، عندما تدور حلقة موصلة حول محور شاقولي موازٍ لوجهها ومار من مركزها والمحور عمودي على فيض مغناطيسي افقي ومنتظم. فإن قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تكون دالة جيبية تتغير مع الزمن وتنعكس مرتين خلال كل:

a - دورة واحدة. b- ربع دورة
C- نصف دورة. d- دورتين.

13- معامل الحث الذاتي لملف لا يعتمد على:

a - عدد لفات الملف. b- الشكل الهندسي للملف C- المعدل الزمني للتغير في التيار المنساب في الملف
d- النفوذية المغناطيسية للوسط في جوف الملف.

س2 علل:

1- يتوهج مصباح النيون المربوط على التوازي مع ملف بضوء ساطع لبرهة قصيرة من الزمن لحظة فتح المفتاح على الرغم من فصل البطارية عن الدائرة، ولا يتوهج عند اغلاق المفتاح.

2- يغلي الماء داخل الاناء المعدني الموضوع على السطح العلوي لطباخ حثي ولا يغلي الماء الذي في داخل اناء زجاجي موضوع مجاور له وعلى السطح العلوي للطباخ نفسه.

3- اذا تغير تيار كهربائي منساب في أحد ملفين متجاورين يتولد تيار محتث في الملف الاخر.

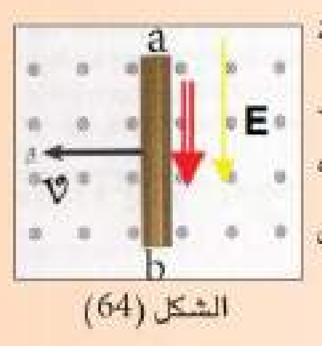
س3 وضح كيف يمكنك عمليا معرفة فيما إذا كان مجالاً مغناطيسياً أم مجالاً كهربائياً موجوداً في حيّز معين؟

س4 عند دوران ملف مساحة اللفة الواحدة فيه (A) بسرعة زاوية (ω) داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه ($\vec{B}$) منتظمة. فإن الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة يعطى بشكل دالة جيب تمام $[\Phi_B = BA\cos(\omega t)]$ في حين تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي هذا الملف بشكل دالة جيبية $[\varepsilon_{ind} = NBA\omega\sin(\omega t)]$ وضح ذلك بطريقة رياضية.

س5 ما المقصود بالمجالات الكهربائية غير المستقرة؟

س6 اذكر بعض المجالات التي تستثمر فيها التيارات الدوامة، ووضح كل منها.

س7 إذا تحركت الساق الموصلة (ab) في الشكل (64)، في مستوى الورقة افقياً نحو اليسار داخل مجال مغناطيسي منتظم مسلط عمودياً على الورقة متجها نحو الناظر، يتولد مجال كهربائي داخل الساق يتجه نحو الطرف (b)، أما إذا تحركت هذه الساق نحو اليمين وداخل المجال المغناطيسي نفسه ينعكس اتجاه المجال الكهربائي في داخلها باتجاه الطرف (a)، ما تفسير ذلك ؟

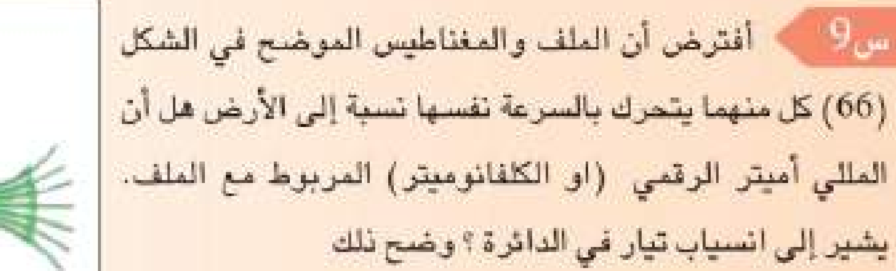


الشكل (64)

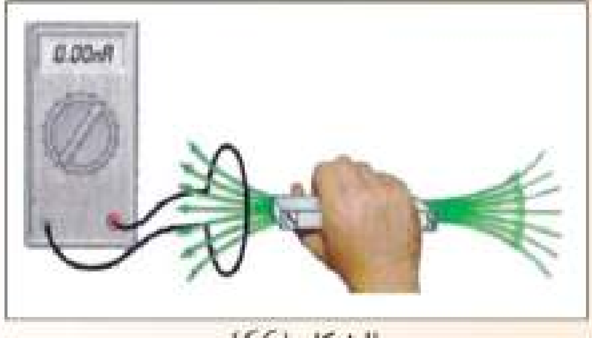
س8 عين اتجاه التيار المحتث في وجه الحلقة المقابلة للملف السلكي في الأشكال الثلاث التالية لاحظ الشكل (65)



الشكل (65)



س9 أفترض أن الملف والمغناطيس الموضح في الشكل (66) كل منهما يتحرك بالسرعة نفسها نسبة إلى الأرض هل أن الملي أميتر الرقمي (او الكلفانوميتر) المربوط مع الملف. يشير إلى انسياب تيار في الدائرة ؟ وضح ذلك



الشكل (66)

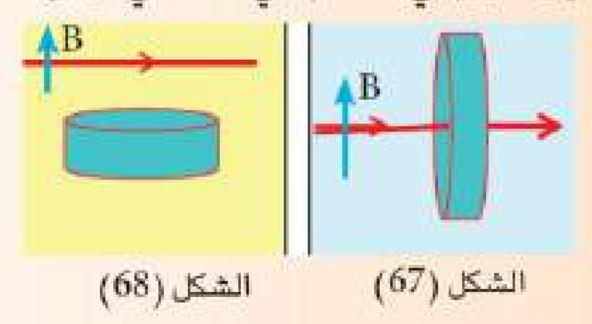
س10 ما الكميات الفيزيائية التي تقاس بالوحدات الاتية:

a - Weber b - Weber / m^2 c - Weber / s d - Tesla e - Henry

س11 كيف تعمل التيارات الدوامة على كبح اهتزاز الصفيحة المعدنية المهتزة عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم؟

س12 شريحة من النحاس وضعت بين قطبي مغناطيس كهربائي منتظم كثافة فيضه كبيرة وبمستوي شاقولي وكان مستوي الصفيحة عموديا على الفيض المغناطيسي. وعندما سحبت الصفيحة افقيا بسرعة معينة لإخراجها من المجال وجد ان عملية السحب تتطلب تسليط قوة معينة. ويزداد مقدار القوة الساحبة بازدياد مقدار تلك السرعة ماتفسير الحالتين ؟

س13 في كل من الشكلين (67) و (68) سلك نحاسي وحلقة من النحاس مقفلة. في أي وضعية ينساب تيار محتث في الحلقة عندما يتزايد التيار الكهربائي المنساب في السلك في كل من الحالين ؟ وضح ذلك.



الشكل (68) الشكل (67)

س14 يتوافر لك سلك ذو طول ثابت وترغب في الحصول على مولد بسيط يجهزك باعظم مقدار للقوة الدافعة الكهربائية. أيتطلب منك ان تجعل السلك بشكل ملف ذي لفة واحدة دائرية الشكل؟ ام ملف ذي لفتين دائرتي الشكل؟ او ملف ذي ثلاث لفات دائرية الشكل؟ عند تدوير الملف الذي تحصل عليه بسرعة زاوية معينة داخل مجال مغناطيسي منتظم؟ وضح اجابتك.

س15 في معظم الملفات يصنع القلب بشكل سيقان متوازية من الحديد المطاوع معزولة عن بعضها البعض عزلاً كهربائياً ومكبوسة كبسا شديدا، بدلا من قلب من الحديد مصنوع كقطعة واحدة. لاحظ الشكل (69) مالفائدة العملية من ذلك؟

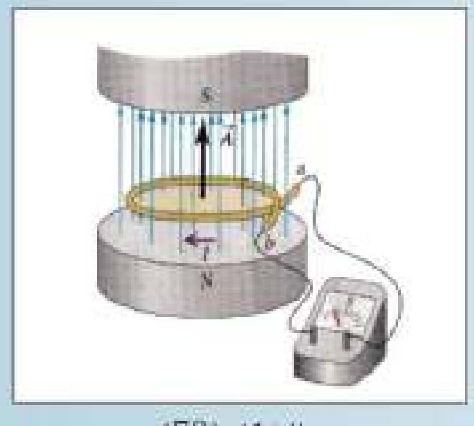

الشكل (69)

المسائل

س1 ملف سلكي دائري الشكل عدد لفاته (40) لفة ونصف قطره (30 cm)، وضع بين قطبي مغناطيس كهرباني، لاحظ الشكل (70) فاذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي المارة خلال الملف من (0.0T) الى (0.5T) خلال زمن قدره (4s).

ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف عندما يكون:

a- متجه مساحة اللفة الواحدة من الملف بموازاة متجه كثافة الفيض المغناطيسي.



الشكل (70)

b- متجه كثافة الفيض المغناطيسي يصنع زاوية قياسها 30^0 مع مستوي الملف.

س2 ملف لمولد دراجة هوائية قطره (4 cm) وعدد لفاته (50) لفة يدور داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $(\frac{1}{\pi})$ T وكان اعظم مقدار للفولطية المحتثة على طرفي الملف (16V) والقدرة العظمى المجهزة للحمل المربوط مع المولد (12W) . ما مقدار:

1- السرعة الزاوية التي تدور بها نواة المولد. 2- المقدار الاعظم للتيار المنساب في الحمل .

س3 ملف سلكي مستطيل الشكل عدد لفاته (50) لفة وابعاده (4cm ، 10cm)، يدور بسرعة زاوية منتظمة مقدارها (15π rad / s)، داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($0.8\ Wb/m^2$)، احسب:

1- المقدار الاعظم للقوة الدافعة الكهربائة المحتثة في الملف.

2- القوة الدافعة الكهربائية الآنية المحتثة في الملف بعد مرور (1/90)s من الوضع الذي كان مقدارها يساوي صفرا.

س4 في الشكل (71) حلقة موصلة دائرية مساحتها $626cm^2$ ومقاومتها 9Ω موضوعة في مستوي الورقة ،سلط عليها مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $0.15T$ باتجاه عمودي على مستوي الحلقة. سحبت الحلقة من جانبيها بقوتي شد متساويتين فبلغت مساحتها $26cm^2$ خلال فترة زمنية $0.2s$. احسب مقدار التيار المحتث في الحلقة.

الشكل (71)

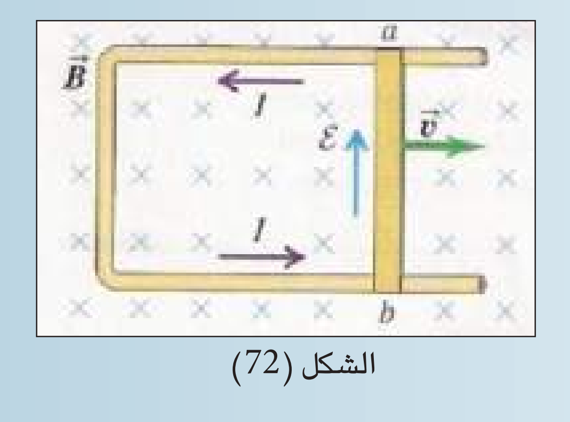
س5 افرض ان الساق الموصلة في الشكل (72) طولها $(0.1m)$، ومقدار السرعة التي يتحرك بها $(2.5\ m/s)$ والمقاومة الكلية للدائرة (الساق والسكة) مقدارها $(0.03\ \Omega)$ وكثافة الفيض المغناطيسي $(0.6T)$، احسب مقدار:

1- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الساق.

2- التيار المحتث في الحلقة.

3- القوة الساحبة للساق.

4- القدرة المتبددة في المقاومة الكلية للدائرة.



الشكل (72)

س6 اذا كانت الطاقة المغناطيسية المختزنة في ملف تساوي $(360\ J)$ عندما كان مقدار التيار المنساب فيه $(20A)$.احسب:

1- مقدار معامل الحث الذاتي للمحث.

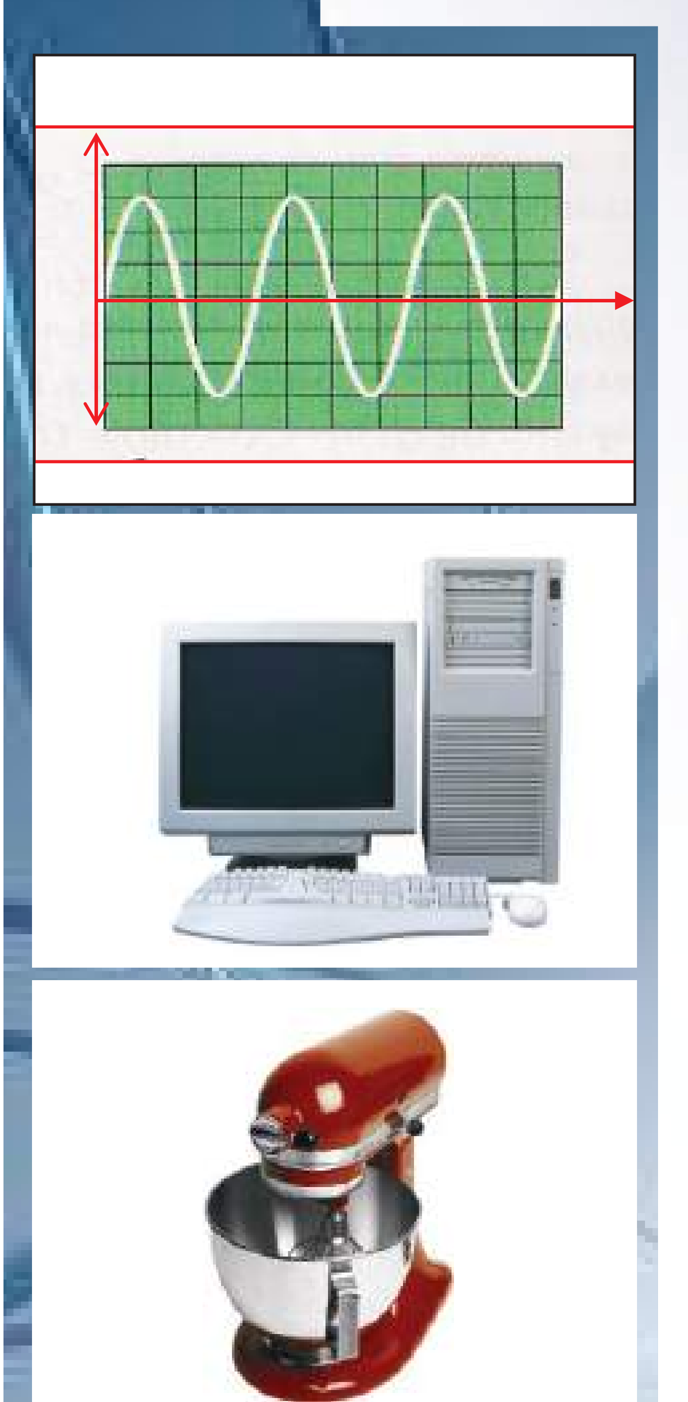
2- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف اذا انعكس التيار خلال $(0.1s)$

س7 ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام، كان معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي $(0.4H)$ ومقاومته $(16\ \Omega)$ ومعامل الحث الذاتي للملف الثانوي $(0.9H)$. الفولطية الموضوعة في دائرة الملف الابتدائي $(200V)$، إحسب مقدار:

التيار الأني والمعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة ازدياد التيار فيها الى (80%) من مقداره الثابت، والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف الثانوي في تلك اللحظة.

الفصل الثالث 3

التيار المتناوب
Alternating current



مفردات الفصل:

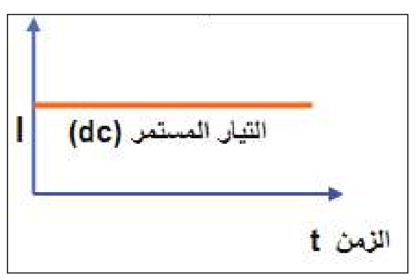
الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

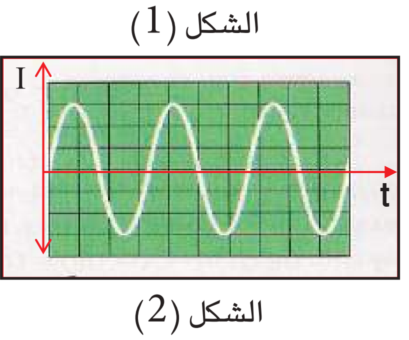
- يتعرف دوائر التيار المتناوب .
- يتعرف المقدار المؤثر للتيار المتناوب .
- يطبق بعلاقة رياضيه المقدار المؤثر للفولطية .
- يجري تجربة يوضح فيها تأثير تغير تردد التيار المتناوب ومعامل الحث الذاتي في مقدار رادة الحث.
- يستنتج قانون عامل القدرة .
- يفهم الاهتزاز الكهرومغناطيسي .
- يعرف عامل النوعية .

المصطلحات العلمية	
Alternating current	التيار المتناوب ويرمز له (ac)
Direct current	التيار المستمر ويرمز له (dc)
Effective current	التيار المؤثر ويرمز له (I_{eff})
Root mean square current	جذر معدل مربع التيار ويرمز له (I_{rms})
Instantaneous current	التيار الآني ويرمز له (I)
Instantaneous potential difference	فرق الجهد الآني ويرمز له (ΔV)
Maximum potential difference	فرق الجهد الاعظم ويرمز له (ΔV_m)
Sinusoidal potential difference	فرق الجهد جيبي الشكل ويرمز له $(\sim)$
Phase angle	زاوية الطور
Phase difference angle	زاوية فرق الطور ويرمز لها (Φ)
Angular frequency	التردد الزاوي ويرمز لها (ω)
Frequency	التردد ويرمز له (f)
Pharos diagram	المخطط الطوري
Pure resistance	مقاومة صرف ويرمز لها (R)
Pure inductor	محث صرف ويرمز لها (L)
Reactance	الرادة ويرمز لها (X)
Capacitive reactance	رادة السعة ويرمز لها (X_C)
Inductive reactance	رادة الحث ويرمز لها (X_L)
Average power	القدرة المتوسطة ويرمز لها (P_{ave})
Dissipated power	القدرة المستهلكة ويرمز لها (P_{diss})
Resonance	الرنين
Power factor	عامل القدرة ويرمز له (PF)
Quality factor	عامل النوعية ويرمز له (Q_f)

1-3 مقدمة



الشكل (1)



الشكل (2)

في دراستنا السابقة للكهربائية كان جل اهتمامنا بالتيارات المستمرة وهي التيارات التي تنساب في الدوائر الكهربائية المقفلة باتجاه واحد، والتي تولدها البطاريات لاحظ الشكل (1).

ويرمز للتيار المستمر بـ (dc).

أما الطاقة الكهربائية التي تستثمر في البيوت والمصانع والمدارس لتشغيل معظم الاجهزة الكهربائية (التلفاز ، أجهزة التكييف ، الثلاجة وغيرها) فتولَّد في محطات انتاج الطاقة الكهربائية بوساطة مولدات ضخمة للتيار المتناوب، وهو تيار يتغير دوريا مع الزمن وينعكس اتجاهه مرات عديدة في الثانية الواحدة، لاحظ الشكل (2) يرمز له (ac).

يكون تردد التيار المتناوب (f= 50Hz) في معظم دول العالم (ومنها العراق) إذ ينعكس اتجاه التيار المتناوب 100 مرة في الثانية الواحدة، وتردده في دول اخرى (f=60Hz).

يفضل استعمال التيار المتناوب في الدوائر الكهربائية لسهولة نقله الى مسافات بعيدة بأقل خسائر بالطاقة، وكذلك يفيدنا التيار المتناوب في امكانية تطبيق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي. ولهذا السبب تستعمل المحولة الكهربائية في عملية رفع او خفض الفولطية المتناوبة عند نقلها في شبكات توزيع القدرة الكهربائية.

إذ ترسل القدرة الكهربائية بفولطية عالية وتيار واطئ باستعمال المحولات الرافعة لغرض تقليل خسائر القدرة في الاسلاك الناقلة (I^2R) والتي تظهر بشكل حرارة في حين تستعمل المحولات الخافضة في مواقع استهلاكها في المدن والتي تعمل على خفض الفولطية ورفع التيار.

2-3 دوائر التيار المتناوب

لقد عرفنا في الفصل الثاني انه عند دوران ملف بسرعة زاوية منتظمة داخل مجال مغناطيسي منتظم نحصل على فولطية محتثة (V_{ind}) متناوبة جيبية الموجة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V = V_m \sin(\omega t)$$

V: تمثل الفولطية المحتثة الآنية (اللحظية).

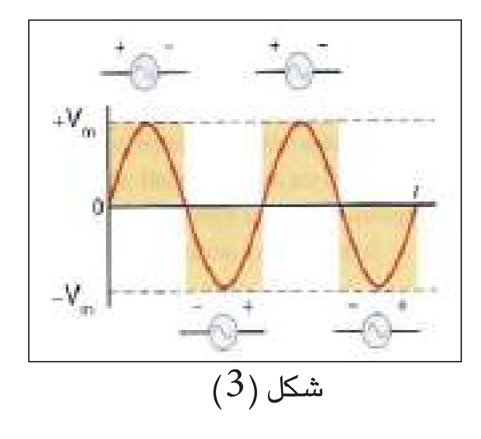
V_m: تمثل اعظم مقدار للفولطية المحتثة وتسمى بذروة الفولطية.

ونحصل على (V_m) في اللحظة التي تكون عندها زاوية الطور $[\omega t = \pi / 2]$ وبما ان $[\sin(\pi / 2) = 1]$ ، فنحصل عندئذ على:

$$V = V_m$$

يتغير مقدار الفولطية الآنية (V) وينعكس اتجاهها دوريا مع الزمن بين ($+V_m$) و ($-V_m$) مرتين في الدورة الواحدة.

لاحظ الشكل (3).



شكل (3)

وبما ان التردد الزاوي (ω) يساوي: $\omega = 2\pi f$

فإن هذه الفولطية يمكن ان تعطى بالصيغة الآتية:

$$V = V_m \sin(2\pi ft)$$

وعلى وفق قانون أوم فان التيار:

$$I = \left(\frac{V_m}{R}\right) \sin(\omega t)$$

لذا فإن التيار المنساب في دائرة تيار متناوب الحمل فيها يتألف من مقاومة صرف (مقاومة مثالية) يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I = I_m \sin(\omega t)$$

وهو دالة جيبية ايضا، اذ ان: I يمثل التيار الاني، I_m يمثل المقدار الاعظم للتيار .

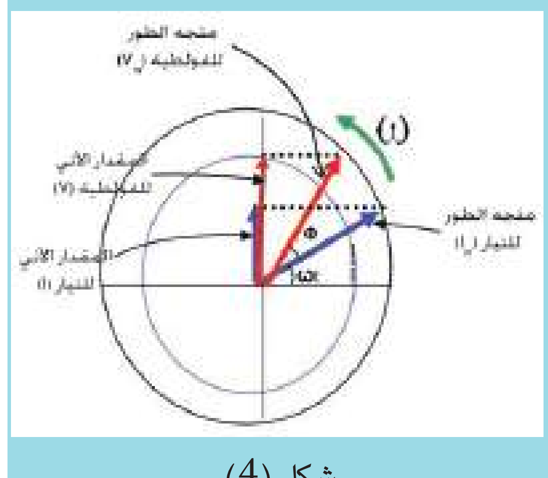
للتعامل مع الفولطية المتناوبة والتيار المتناوب في الدوائر الكهربائية، نرسم مخططاً يسمى مخطط متجه الطور ويسمى احيانا (المتجه الدوّار).

متجه الطور:

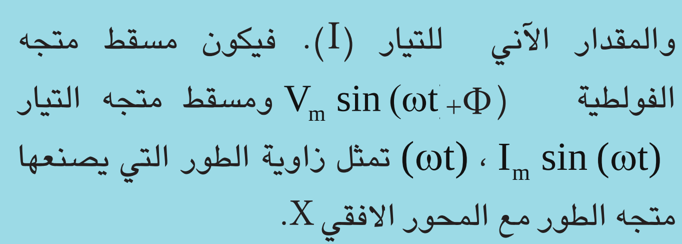
الشكل (4) يوضح متجهين طوريين يدوركل منهما باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة حول نقطة ثابتة تسمى نقطة الاصل (0) بتردد زاوي ω ثابت .

ويتميز متجه الطور بما يأتي:

- طول متجه الطور للفولطية يمثل المقدار الاعظم للفولطية المتناوبة، ويرمز له، (V_m) وإذا كان متجه الطور يمثل التيار فان طول متجه الطور يمثل المقدار الاعظم للتيار ويرمز له (I_m).
- مسقط متجه الطور على المحور الشاقولي y يمثل المقدار الآني لذلك المتجه، للفولطية يكون (V)



شكل (4)



والمقدار الآني للتيار (I). فيكون مسقط متجه الفولطية $V_m \sin(\omega t + \Phi)$ ومسقط متجه التيار $I_m \sin(\omega t)$ ، (ωt) تمثل زاوية الطور التي يصنعها متجه الطور مع المحور الافقي X.

- عند بدء الحركة ($t=0$) يكون متجه الطور منطبقاً مع المحور الافقي X .
- إذا تطابق متجه الطور للفولطية (V_m) مع متجه الطور للتيار (I_m) يقال عندئذ أن الفولطية والتيار يتغيران معاً

بطور واحد، وهذا يعني ان زاوية فرق الطور بينهما صفراً ($\Phi=0$). ويحصل ذلك في حالة الحمل ذي مقاومة صرف (مقاومة مثالية).

- إذا لم يتطابق المتجهان احدهما على الآخر (في الحالة التي يحتوي الحمل محث او متسعة او كليهما، فضلاً عن المقاومة) عندئذ تتولد بينهما زاوية فرق في الطور يرمز لها (Φ)
- احيانا تسمى (ثابت الطور)، يتحدد مقداره على وفق نوع الحمل في الدائرة.
- تقاس كل من زاوية الطور (ωt) وزاوية فرق الطور (Φ) بالدرجات الستينية او (rad).

إذا كانت Φ موجبة، يقال إن متجه الطور للفولطية يسبق متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور (Φ).
وإذا كانت Φ سالبة، فان متجه الطور للفولطية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور (Φ) (عندما يؤخذ التيار كأساس).

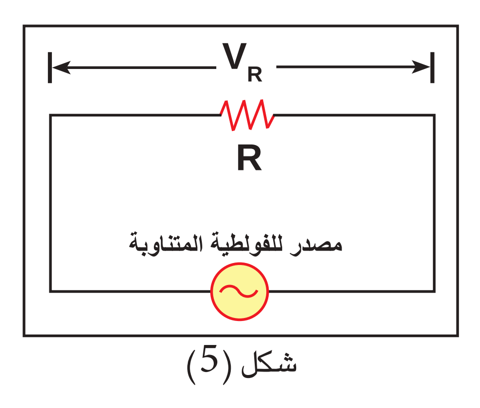
وكما عرفت في دراستك السابقة أنَّ :

الطور: هو الحالة الحركية للجسم المهتز من حيث الموضع واتجاه الحركة.

وفرق الطور: هو التغير في الحالة الحركية للجسم المهتز بين لحظتين مختلفتين أو لجسمين في اللحظة نفسها.

3-3 دائرة تيار متناوب الحمل فيها مقاومة صرف

اذا ربطنا مقاومة صرف R (مقاومة مثالية) بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة في دائرة كهربائية. (يرمز للمصدر المتناوب (ac) بالرمز (~)). لاحظ الشكل (5).



شكل (5)

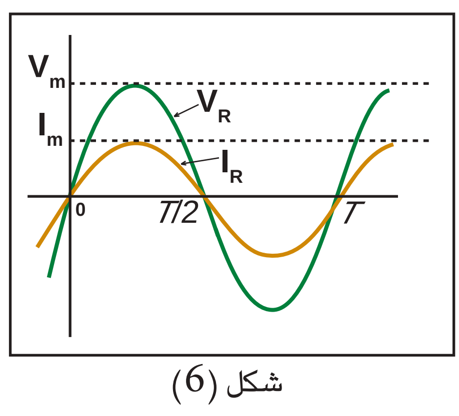
الشكل (6) يوضح موجة التيار تتغير بشكل منحنٍ جيبي وموجة الفولطية تتغير بشكل منحنٍ جيبي أيضاً، وكلاهما يتغيران مع الزمن بالكيفية نفسها، فيقال انهما يتغيران بطور واحد.

تعطى الفولطية المتناوبة في هذه الدائرة بالعلاقة الآتية:

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

ويعطى التيار المتناوب المنساب في هذه الدائرة بالعلاقة الآتية:

$$I_R = I_m \sin(\omega t)$$

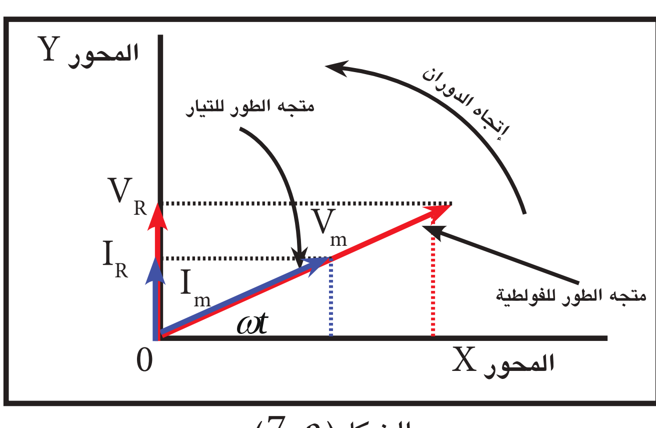


شكل (6)

إذ إن I_R يمثل المقدار الآني للتيار المنساب في المقاومة R

I_m يمثل المقدار الاعظم للتيار المنساب في المقاومة R

من ملاحظتنا للشكل (7-a) نجد ان:
متجه الطور للفولطية (V_m) ومتجه الطور للتيار (I_m) متطابقان ومتلازمان، وهذا يعني أنهما يدوران حول نقطة الاصل (O) بطور واحد وباتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، أي ان زاوية فرق الطوربينهما ($\Phi = 0$)، اما زاوية الطور التي يدور بها كل من المتجهين فمتساوية ومقدارها (ωt).



الشكل (7-a)

وللتبسيط، يمكن رسم متجه الطور (I_m) للتيار المتناوب ومتجه الطور (V_m) للفولطية المتناوبة لمثل هذه الدائرة على المحور الافقي X ، في اللحظة الزمنية ($t = 0$) أي عند زاوية طور [$(\omega t) = 0$] لاحظ الشكل (7-b).

الشكل (7-b)

فكر:
ما قياس زاوية الطور (ωt) لكل من متجه الطور للفولطية (V_m) ومتجه الطور للتيار (I_m) في الحالة التي يكون عندها $V_R = V_m$ وكذلك يكون $I_R = I_m$ ؟ وضح ذلك.

4-3 القدرة في دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف

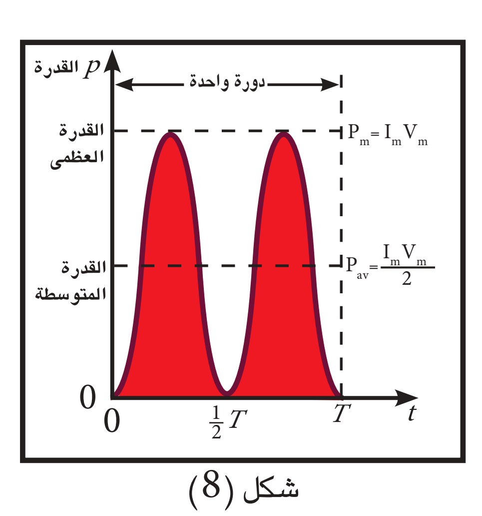
بما ان الفولطية والتيار المنساب في دائرة التيار المتناوب التي تحتوي مقاومة صرف يتغيران بطور واحد مع الزمن. تعطى الفولطية بالعلاقة الآتية:

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

والتيار المنساب خلال المقاومة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_R = I_m \sin(\omega t)$$

والقدرة الآنية تعطى بالعلاقة الآتية: $P = I_R \; V_R$



شكل (8)

الشكل (8)، رسم فيه منحنى القدرة الآنية لدائرة تيار تحتوي مقاومة صرف، لاحظ انه منحنِ موجب دائما وبشكل منحنِ جيب تمام (cosine)، يتغير بين المقدار الاعظم للقدرة ($P_m = I_m \cdot V_m$) والصفر.

والمنحني الموجب للقدرة في دائرة التيار المتناوب عندما يكون الحمل فيها مقاومة صرف، يعني ان القدرة في الدائرة تستهلك باجمعها في المقاومة بشكل حرارة.

وعندئذ تكون القدرة المتوسطة P_{av} تساوي نصف القدرة العظمى $(I_m . V_m / 2)$ لذا تعطى P_{av} بالعلاقة الآتية:

$$P_{av} = \frac{I_m . V_m}{2}$$

5-3 المقدار المؤثر للتيار المتناوب (I_{eff})

قدرة التيار المستمر I^2R

الفولطية المستمرة V_R

التيار المستمر I

الزمن t

شكل (9)

القدرة المتبددة (او المستهلكة) في دائرة تيار مستمر تحتوي مقاومة صرف تكون ثابتة المقدار تتناسب طرديا مع مربع التيارالمنساب فيها لاحظ الشكل (9) لذا فإن: $P = I^2R$

القدرة المتبددة في مقاومة صرف لاتعتمد على اتجاه التيار.

لاحظ الشكل (10-b)، يتبين ان القدرة المتبددة بوساطة تيار متناوب له مقدار اعظم(I_m) لاتساوي القدرة التي ينتجها تيار مستمر يمتلك المقدار نفسه. ما سبب ذلك ؟

وللاجابة عن هذا السؤال:

لقد وجد ان التيار المتناوب يتغير دوريا مع الزمن بين $(+I_m)$ و $(-I_m)$ لاحظ الشكل (10-a) ومقداره عند اية لحظة لايساوي دائما مقداره الاعظم، وانما فقط عند لحظة معينة يساوي مقداره الاعظم، في حين أن التيار المستمر مقداره ثابت.

لذا فإن جميع التأثيرات الناتجة عن التيار المتناوب تتغير دورياً مع الزمن ايضا ومنها التأثيرات الحرارية.

إن العلاقة التي تعطى فيها القدرة المتوسطة هي العلاقة نفسها لحساب قدرة التيار المستمر:

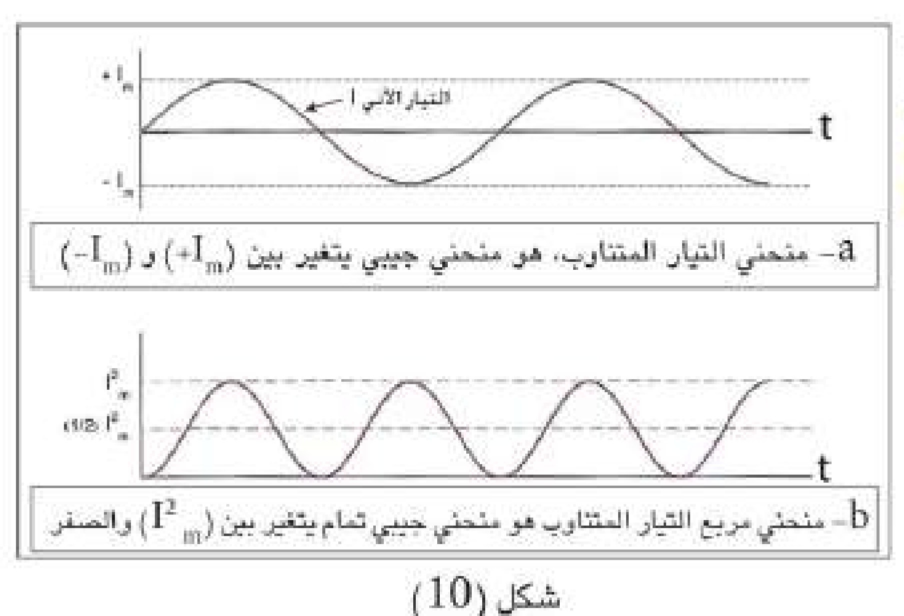
$$P = I^2 R$$

$$P = [I_m^2 \ \sin^2(\omega t)]R$$

فتكون القدرة المتوسطة $P_{av} = \frac{1}{2} I_m^2 \ R$

لأن المقدار المتوسط للكمية $\sin^2(\omega t)$ (لدورة كاملة او عدد صحيح من الدورات) يساوي نصف $(\frac{1}{2})$.

أي إن: $\sin^2(\omega t) = \frac{1}{2}$



a- منحني التيار المتناوب، هو منحني جيبي يتغير بين $(+I_m)$ و $(-I_m)$

b- منحني مربع التيار المتناوب هو منحني جيبي تمام يتغير بين (I^2_m) والصفر

شكل (10)

وكما عرفت فإن القدرة المتبددة في دائرة التيار المستمر خلال المقاومة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$P = I^2_{dc}R$$

وتكون القدرة المتوسطة للتيار المتناوب مساوية لقدرة التيار المستمر خلال المقاومة نفسها وللمدة الزمنية نفسها.

ويطلق على I_{dc} بالتيار المؤثر I_{eff}

$$I^2_{dc}R = \frac{I^2_m R}{2}$$

$$I^2_{eff}R = \frac{I^2_m R}{2}$$

بما أن المقاومة نفسها فنحصل على:

$$I^2_{eff} = \frac{I^2_m}{2}$$

وعند جذر الطرفين نحصل على

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I^2_m}{2}}$$

المقدار المؤثر للتيار المتناوب وهو:

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_m$$

علماً بأن:

$$0.707 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

لذا يسمى المقدار المؤثر للتيار المتناوب بجذر معدل مربع المقدار الأعظم للتيار (root mean square) ويرمز له (I_{rms}).

يعرف المقدار المؤثر للتيار المتناوب بأنه: مقدار التيار المتناوب المساوي للتيار المستمر الذي لو انساب خلال مقاومة معينة فانه يولد التأثير الحراري نفسه الذي يولده التيار المتناوب المنساب خلال المقاومة نفسها والفترة الزمنية نفسها.

وكذلك يعطى المقدار المؤثر للفولطية المتناوبة بالعلاقة الآتية:

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_m$$

ماذا تعني العبارة الآتية "ان مقدار التيار المتناوب في الدائرة يساوي (1 ampere)" ؟

بالتأكيد أن ذلك لايعني المقدار الاعظم (I_m) للتيار، وأنما تعني العبارة ان المقدار المؤثر للتيار (I_{eff}) يساوي (1 Ampere).

وليكن معلوما أن معظم مقاييس التيار المتناوب مثل الاميترات والفولطيمترات تعمل على قياس المقادير المؤثرة للتيار والفولطية. وأن معظم أجهزة قياس التيار المستمر (dc) تقيس المقدار المتوسط للتيار المتناوب. لذا فإن مؤشرها يقف عند تدريجة الصفر عند وضعها في دائرة التيار المتناوب.

فكر:

يقول زميلك "ان التيار المؤثر يتذبذب كالدالة الجيبية" ما رأيك في صحة ماقاله زميلك؟ وإذا كانت العبارة خاطئة، كيف تصحح قوله؟

مثال (1)

مصدر للفولطية المتناوبة، ربط بين طرفيه مقاومة صرف ($R = 100\ \Omega$)، الفولطية في الدائرة تعطى بالعلاقة الآتية:

$V_R = 424.2 \sin(\omega t)$.

إحسب:

1- المقدار المؤثر للفولطية.

2- المقدار المؤثر للتيار.

3- مقدارالقدرة المتوسطة.

الحل

لحساب:

1- المقدار المؤثر للفولطية

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

$$V_R = 424.2 \sin(\omega t)$$

$$V_m = 424.2\ V$$

$$\boxed{V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} == \frac{424.2}{1.414} = 300V}$$

2- المقدار المؤثر للتيار

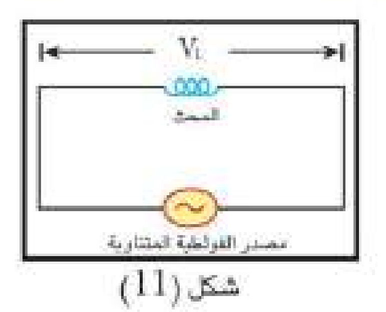
$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{R} = \frac{300}{100} = 3A$$

3- مقدار القدرة المتوسطة

$$P_{av} = I_{eff}^2\ R = (3)^2 \times 100$$
$$= 900W$$

or

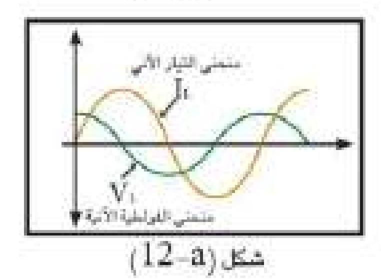
$$P_{av} = I_{eff} \times V_{eff}$$
$$= 3 \times 300$$
$$= 900W$$



شكل (11)

الشكل (11)، يبين دائرة تيار متناوب تحتوي مصدرا للفولطية المتناوبة ومحثٌ صرف (يعني ملف مهمل المقاومة)، ان الفولطية عبر المحثُ تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_L = V_m \sin(\omega t + \pi/2)$$



شكل (12-a)

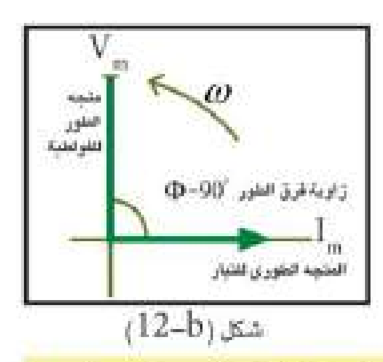
لاحظ الشكل (12-a):

V_L تمثل المقدار الآني للفولطية عبر المحث

V_m تمثل المقدار الاعظم للفولطية عبر المحث

(ωt) تمثل زاوية الطور

$\Phi = \pi/2$ تمثل زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار لاحظ الشكل (12-b)



شكل (12-b)

ان التيار المنساب في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_L = I_m . \sin(\omega t)$$

وهذا يعني ان:

متجه الطور للفولطية V_m عبر محث صرف يتقدم عن متجـه الطور للتيار I_m بفرق طور Φ يساوي $(\Phi = \pi/2 = 90^0)$

في هذه الدائرة يُظْهِر المحثُ معاكسة للتغير في التيار. وهذه المعاكسة تسمى رادة الحث ويرمز لها (X_L) وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

تعتمد مقدار رادة الحث (X_L) على مقدار:

1- معامل الحث الذاتي للمحث (L) وتتناسب معه طردياً $(X_L \propto L)$ بثبوت تردد التيار (f).

2- التردد الزاوي (ω) وتتناسب معه طرديا $(X_L \propto \omega)$ بثبوت معامل الحث الذاتي (L).

تقاس رادة الحث بوحدة (ohm) ويرمز لها (Ω) وذلك لان:

$$X_L = 2\pi f L = Hz.Henry = (\frac{1}{sec})(\frac{Volt.sec}{Ampere}) = \frac{Volt}{Ampere} = ohm(\Omega)$$

إذ إن التردد (f) يقاس بوحدة (Hz) ومعامل الحث الذاتي (L) يقاس بوحدة $(Henry)$.

لنثبت الآن كيف يتأثر مقدار رادة الحث (X_L) مع مقدار كل من تردد تيار الدائرة (f) ومعامل الحث الذاتي (L)؟ وماهو شكل المنحني الذي نحصل عليه؟ للاجابة عن ذلك نجري النشاط الآتي:

نشاط (1) يوضح تأثير تغير تردد تيار (f) في مقدار رادة الحث (X_L).

ادوات النشاط:

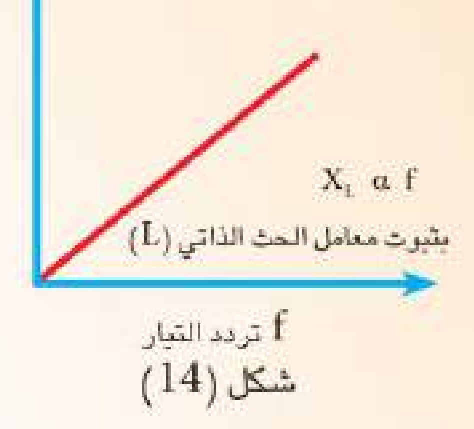
مذبذب كهربائي (مصدر فولطيته متناوبة يمكن تغيير ترددها) أميتر فولطميتر ، ملف مهمل المقاومة (مِحَثٌ)، مفتاح كهربائي.

شكل (13)

خطوات النشاط:

- نربط دائرة كهربائية عملية (تتألف من الملف والأميتر والمذبذب الكهربائي على التوالي، ونربط الفولطميتر على التوازي بين طرفي الملف) كما في الشكل (13).
- نغلق الدائرة ونبدأ بزيادة تردد المذبذب الكهربائي تدريجياً مع المحافظة على بقاء مقدار الفولطية ثابتا (بمراقبة قراءة الفولطميتر). كيف ستتغير قراءة الأميتر في الدائرة ؟

نلاحظ حصول نقصان قراءة الاميتر.



شكل (14)

نستنتج من النشاط:

رادة الحث (X_L) تتناسب طرديا مع تردد التيار (f).
بثبوت معامل الحث الذاتي (L)

من النشاط المذكور آنفاً يمكننا رسم مخططاً بيانياً:

يمثل العلاقة الطردية بين رادة الحث X_L وتردد التيار (f)، لاحظ الشكل (14).

نشاط (2) يوضح تأثيرتغير معامل الحث الذاتي (L) في مقدار رادة الحث (X_L).

ادوات النشاط:

مصدر فولطية تردده ثابت ، قلب من الحديد المطاوع ، اميتر فولطميتر ، ملف مجوف مهمل المقاومة (مِحَثٌ) ، مفتاح كهربائي.

خطوات النشاط:

- نربط دائرة كهربائية عملية (تتألف من الملف والاميتر ومصدر الفولطية على التوالي، ونربط الفولطميتر على التوازي بين طرفي الملف) كما في الشكل (15).



شكل (15)

- نغلق الدائرة ونلاحظ قراءة الاميتر.
- ندخل قلب الحديد تدريجيا في جوف الملف مع المحافظة على بقاء مقدارالفولطية بين طرفي الملف ثابتا (بمراقبة قراءة الفولطميتر).

كيف ستتغير قراءة الاميتر في الدائرة ؟

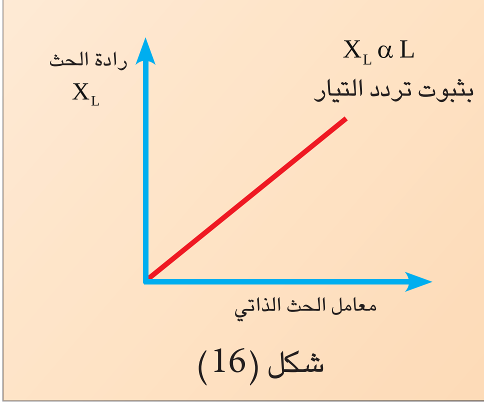
نلاحظ حصول نقصان في قراءة الاميتر وذلك بسبب ازدياد مقدار رادة الحث (لان ادخال قلب الحديد في جوف الملف يزيد من معامل الحث الذاتي للملف).

نستنتج من هذا النشاط:

رادة الحث (X_L) تتناسب طرديا مع معامل الحث الذاتي L للملف بثبوت تردد التيار.

من النشاط المذكور آنفاً يمكننا رسم مخططاً بيانياً بين رادة الحث ومعامل الحث الذاتي لاحظ الشكل (16) يمثل العلاقة الطردية بين رادة الحث X_L ومعامل الحث الذاتي L

بثبوت تردد التيار (f) $\qquad X_L \propto L$



شكل (16)

كيف تفسر ازدياد مقدار رادة الحث بازدياد تردد التيار على وفق قانون لنز؟

للاجابة على ذلك : نقول ان ازدياد تردد التيار المنساب في الدائرة ، أي ازدياد المعدل الزمني للتغير في التيار $(\Delta I / \Delta t)$ فتزداد بذلك القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في المحث والتي تعمل على عرقلة المسبب لها $(\varepsilon_{ind} \propto -\frac{\Delta I}{\Delta t})$، على وفق قانون لنز، أي تعرقل المعدل الزمني للتغير في التيار فتزداد نتيجة لذلك رادة الحث التي تمثل تلك المعاكسة التي يبديها المحث للتغير في التيار.

تذكر

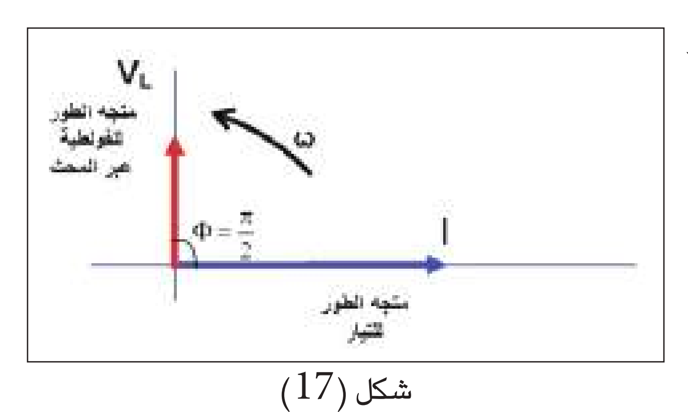
عند الترددات الواطئة جدا تقل رادة الحث $(X_L = 2\pi f L)$ فهي تتناسب طرديا مع تردد التيار $(X_L \alpha f)$ وقد تصل الى الصفر عند الترددات الواطئة جداً، فيمكن القول عندئذ إن الملف يعمل عمل مقاومة صرف (لان الملف غير مهمل المقاومة).

في حين أنها عند الترددات العالية جدا تزداد رادة الحث (X_L) إلى مقدار كبير جدا قد تؤدي الى قطع تيار الدائرة فيعمل الملف عندئذ عمل مفتاح مفتوح.

القدرة في دائرة تيار متناوب تحتوي محث صرف:

بما أن الفولطية عبر محث صرف تتقدم عن التيار المنساب في الدائرة بزاوية فرق طور(Φ) قياسها$(\pi/2)$ أي إن $(\Phi = \pi/2)$ لاحظ الشكل (17) لذا فان الفولطية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_L = V_m \sin(\omega t + \pi/2)$$



شكل (17)

والتيار المنساب خلال المحث يعطى بالعلاقة الآتية:

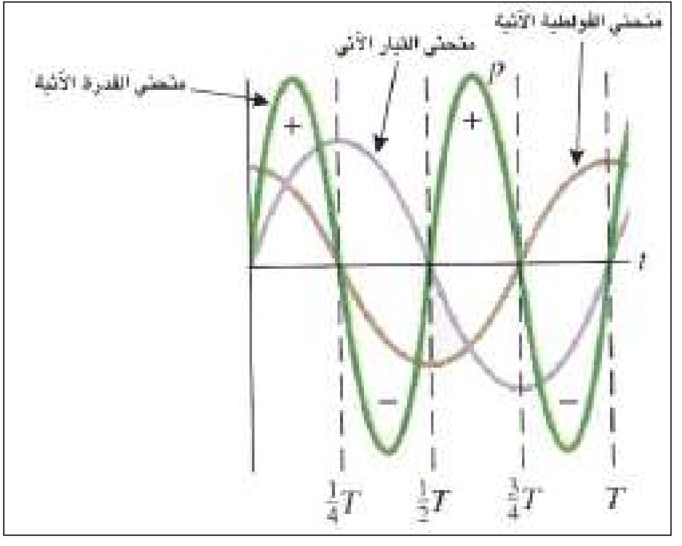
$$I_L = I_m \sin(\omega t)$$

وعند رسم المقدار الاني للفولطية عبر المحث والمقدار الآني للتيار كدالة للزمن نحصل على منحني القدرة بشكل دالة جيبية تردده ضعف تردد الفولطية او التيار. يحتوي اجزاء موجبة واجزاء سالبة متساوية بالمساحة .

لذا فان القدرة المتوسطة لدورة كاملة او عدد صحيح من الدورات الكاملة يساوي صفرا، لاحظ الشكل (18).

ما تفسير ذلك؟

أن سبب ذلك هو عند تغير التيار المنساب خلال المحث من الصفر الى مقداره الاعظم في أحد ارباع الدورة تنتقل الطاقة من المصدر وتختزن في المحث بهيئة مجال مغناطيسي، (يمثله الجزء الموجب من المنحني). ثم تعاد جميع هذه الطاقة الى المصدر عند تغير التيار من مقداره الاعظم الى الصفر في الربع الذي يليه، (يمثله الجزء السالب من المنحني).



شكل (18)

وهذا يعني أن المحث عندما يكون صرف لا يستهلك قدرة وان رادة الحث لاتعد مقاومة اومية ولاتخضع لقانون جول، لانها لاتستهلك قدرة (القدرة المتوسطة تساوي صفر).

مثال (2)

ملف مهمل المقاومة (محث صرف) معامل حثه الذاتي $(\frac{50}{\pi} mH)$ ربط بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه $(20V)$. احسب كل من رادة الحث والتيار في الدائرة عندما يكون تردد المصدر:

a- $f = 10\,Hz$ b- $f = 1\,MHz$

الحل

a- عند التردد $f = 10\,Hz$

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= 2\pi \times 10 \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 1\Omega$$

$$I = \frac{V_L}{X_L} = \frac{20}{1} = 20A$$

b- عند التردد $f = 1\,MHz$

$$X_L = 2\pi f L$$

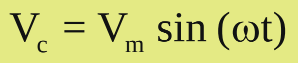
$$= 2\pi \times 1 \times 10^{6} \times \frac{50}{\pi} \times 10^{-3} = 10^{5}\,\Omega$$

$$I = \frac{V_L}{X_L} = \frac{20}{10^{5}} = 20 \times 10^{-5} A$$

ناقش نتائج هذا المثال ووضح ماذا تستنتج من ذلك ؟

7-3 دائرة تيار متناوب: الحمل فيها متسعة ذات سعة صرف

الشكل (19-a)، يبين دائرة تيار متناوب تحتوي مصدرا للفولطية المتناوبة ومتسعة فقط، ان فرق الجهد عبر المتسعة يعطى بالعلاقة الآتية:



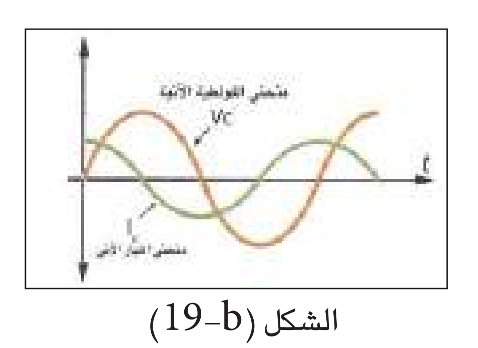
$$V_c = V_m \sin(\omega t)$$

إذ إن V_C تمثل المقدار الآني لفرق الجهد عبر المتسعة

V_m تمثل المقدار الاعظم لفرق الجهد عبر المتسعة

(ωt) تمثل زاوية الطور للمتجه الطوري لفرق الجهد عبر المتسعة الشكل (19-b).

الشكل (19-a)



الشكل (19-b)

ومن تعريف سعة المتسعة (C):

$$Q = C.V_c$$

وعندئذ تكون:

$$Q = C\,V_m \sin(\omega t)$$

بما إن التيار:

$$I_c = \Delta Q / \Delta t$$

إذ إن:

$$I_c = \frac{\Delta\left[CV_m \sin(\omega t)\right]}{\Delta t}$$

$$I_c = \omega\,C\,V_m \cos(\omega t)$$

نحصل على:

$$I_c = \omega\,C\,V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

لان:

$$\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \cos(\omega t)$$

إن مقلوب (ωC) يسمى رادة السعة capacitive reactance للمتسعة، ويرمز لها (X_C) وتعرف رادة السعة بانها: المعاكسة التي تبديها المتسعة للتغير في فولطية الدائرة.

أي إن:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{او} \quad X_c = \frac{1}{2\pi f\,C}$$

وبالتعويض عن: $\omega\,C = \frac{1}{X_c}$ في معادلة التيار نحصل على:

$$I_c = (\frac{V_m}{X_C}) \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

وعلى وفق قانون أوم

$$I_m = \frac{V_m}{X_c}$$

وعندئذ يعطى التيار في دائرة تيار متناوب تحتوي متسعة ذات سعة صرف بالعلاقة الآتية:

$$I_c = I_m . \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

من العلاقة المذكورة آنفاً يتبين ان متجه الطور للتيار I_m في دائرة تيارمتناوب تحتوي متسعة ذات سعة صرف يتقدم عن متجه الطور للفولطية V_m بزاوية فرق طور ($\Phi = \pi / 2$ أو ربع دورة) لاحظ الشكل (20) الذي يمثل مخطط طوري لمتجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار:

شكل (20)

لنسأل الآن كيف يتأثر مقدار رادة السعة مع مقدار كل من تردد فولطية المصدر وسعة المتسعة ؟ وما شكل المنحني الذي نحصل عليه؟ للاجابة على ذلك نجري النشاط الآتي:

نشاط (1) يوضح تأثير تغير مقدار تردد فولطية المصدر في مقدار رادة السعة.

ادوات النشاط:

اميتر ، فولطميتر ، متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين. مذبذب كهربائي واسلاك توصيل ، مفتاح كهربائي.

خطوات النشاط:

- نربط دائرة كهربائية عملية (تتالف من المتسعة والاميتر والمذبذب الكهربائي على التوالي، ونربط الفولطميتر على التوازي بين صفيحتي المتسعة) كما في الشكل (21).



شكل (21)

- نغلق الدائرة ونبدأ بزيادة تردد المذبذب الكهربائي مع المحافظة على بقاء مقدار فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة ثابتا (بمراقبة قراءة الفولطميتر). كيف ستتغير قراءة الاميتر في الدائرة ؟

نلاحظ ازدياد قراءة الاميتر (ازدياد التيار المنساب في الدائرة مع ازدياد تردد فولطية المصدر).

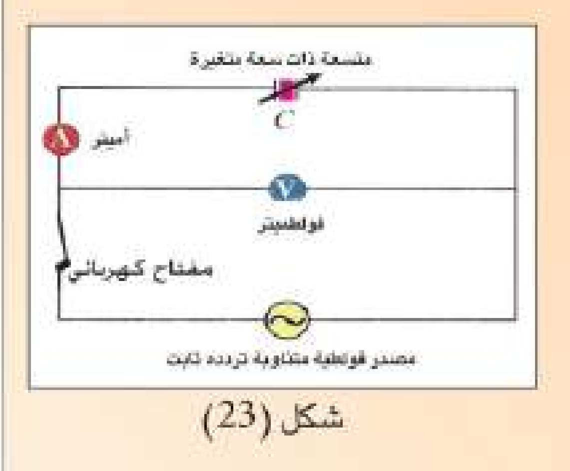
نستنتج من النشاط:

إن رادة السعة X_C تتناسب عكسيا مع تردد فولطية المصدر بثبوت سعة المتسعة (C). $(X_C \, \alpha \, 1/f)$

من النشاط المذكورة آنفاً يمكن رسم العلاقة بين تردد فولطية المصدر ورادة السعة بيانياً لاحظ الشكل (22) فهو يمثل العلاقة العكسية بين رادة السعة X_C وتردد فولطية المصدر f بثبوت سعة المتسعة (C) عندما تحتوي الدائرة متسعة ذات سعة صرف.

شكل (22)

نشاط (2) يوضح تأثير تغير سعة المتسعة في مقدار رادة السعة.



شكل (23)

أدوات النشاط:

مصدر للفولطية المتناوبة تردده ثابت ، اميتر ، فولطميتر ، متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين متغيرة السعة ، مفتاح كهربائي ، أسلاك توصيل ، عازل .

خطوات النشاط:

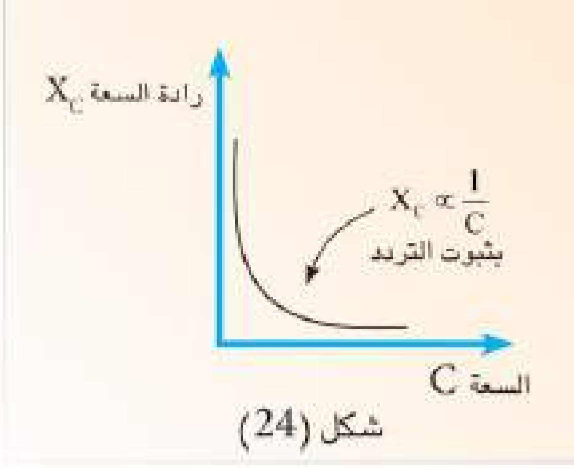
- نربط دائرة كهربائية عملية (تتالف من المتسعة والاميتر ومصدر الفولطية على التوالي، وتربط الفولطميتر على التوازي بين صفيحتي المتسعة) كما في الشكل (23).
- نغلق الدائرة ونلاحظ قراءة الاميتر.
- نزيد مقدار سعة المتسعة تدريجيا (وذلك بادخال لوح من مادة عازلة كهربائياً بين صفيحتي المتسعة).

كيف ستتغير قراءة الاميتر في الدائرة في هذه الحالة؟

نلاحظ ازدياد قراءة الاميتر (ازدياد التيار المنساب في الدائرة زيادة طردية مع ازدياد سعة المتسعة).

نستنتج من النشاط: رادة السعة تتناسب عكسيا مع مقدار سعة المتسعة، بثبوت تردد فولطية المصدر.

من النشاط المذكورة آنفاً يمكن تمثيل العلاقة بين رادة السعة والسعة بيانياً لاحظ الشكل (24) يمثل العلاقة العكسية بين رادة السعة X_C وسعة المتسعة C بثبوت تردد فولطية المصدر عندما يكون الحمل في الدائرة متسعة ذات سعة صرف.



شكل (24)

تقاس رادة السعة بوحدة (ohm) وذلك لان:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{\text{Hz. Farad}} = \frac{1}{(1/\text{sec})(\text{Coulomb}/\text{Volt})} = \frac{\text{sec.Volt}}{\text{Ampere.sec}} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \text{ohm}$$

تذكر

عند الترددات العالية جدا لفولطية المصدر تقل رادة السعة فهي تتناسب عكسيا مع التردد $(X_C \propto 1/f)$ وقد تصل الى الصفر، فيمكن القول عندئذ إن المتسعة تعمل عمل مفتاح مغلق (تعد المتسعة خارج الدائرة).

في حين أنها عند الترددات الواطئة جدا تزداد رادة السعة الى مقدار كبير جدا قد يقطع تيار الدائرة، وعندئذ تعمل المتسعة عمل مفتاح مفتوح. كما يحصل ذلك في حالة وجود المتسعة في دائرة التيار المستمر.

مثال (3)

ربطت متسعة سعتها $(\frac{4}{\pi}\mu F)$ بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه 2.5V. احسب مقدار رادة السعة ومقدار التيار في هذه الدائرة. إذا كان تردد الدائرة (a) 5Hz (b) 5×10^5 Hz

الحل

a- نحسب رادة السعة عند التردد(5 Hz)

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\times5\times(4/\pi)\times10^{-6}} = \frac{10^6}{40} = 25\times10^3\Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{2.5}{25\times10^3} = 1\times10^{-4}A$$

b- نحسب رادة السعة عند التردد (5×10^5 Hz)

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\times5\times10^5(4/\pi)\times10^{-6}} = \frac{1}{4} = 0.25\Omega$$

$$I = \frac{Vc}{X_C} = \frac{2.5}{0.25} = 10A$$

ناقش نتائج هذا المثال ووضح ماذا تستنتج من ذلك ؟

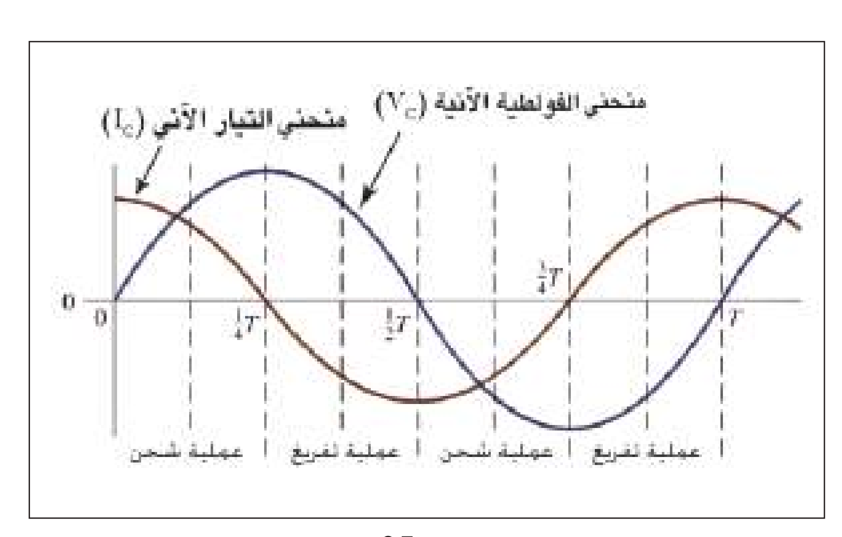
القدرة في دائرة تيار متناوب تحتوي متسعة ذات سعة صرف:

بما أن الفولطية عبر المتسعة ذات سعة صرف تعطى بالعلاقة:

$$V_C = V_m \sin(\omega t)$$

فيكون التيار المناسب في الدائرة متقدماً عن الفولطية بفرق طور $\Phi = \pi/2$ لاحظ الشكل (25) لذا يعطى التيار بالعلاقة الآتية:

$$I_C = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

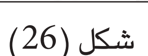


شكل (25)

فان منحني القدرة الانية يتغير كدالة جيبية، تردده ضعف تردد التيار او الفولطية فهو يحتوي اجزاء موجبة واجزاء سالبة متساوية بالمساحة، لذا فإن القدرة المتوسطة لدورة كاملة او عدد صحيح من الدورات يساوي صفرا. لاحظ الشكل (26). ما تفسير ذلك؟

إن سبب ذلك هو أن المتسعة تشحن خلال الربع الأول من الدورة ثم تفرغ جميع شحنتها الى المصدر خلال الربع الذي يليه من الدورة، وبعدها تشحن المتسعة بقطبية معاكسة وتتفرغ وهكذا بالتعاقب. ماذا نستنتج من ذلك ؟

نستنتج ان المتسعة ذات السعة الصرف لاتبدد قدرة في دائرة التيار المتناوب لعدم توافر مقاومة في الدائرة.

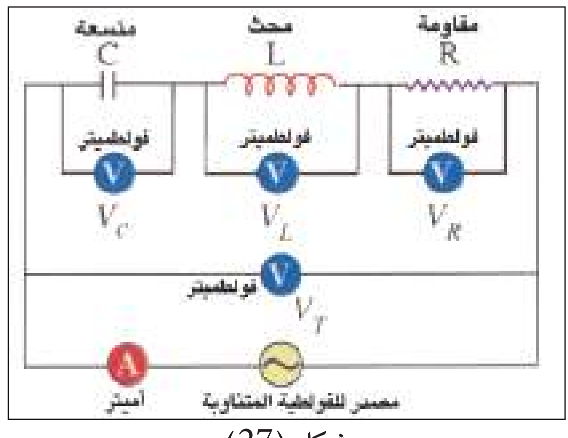


شكل (26)

8-3 دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C)

عند ربط كل من مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف على التوالي مع بعضها ومجموعتها على التوالي مع اميتر، لاحظ الشكل (27) يتخذ المحور الافقي X كمحور اسناد (محور مرجعي) فتكون المتجهات الطورية للتيارات في الدائرة المتوالية الربط منطبقة على المحور X

أما المتجهات الطورية للفولطية، فيعمل كل منها زاوية فرق طور Φ مع المحور X ، والآن نمثل متجهات الطور لكل من التيار وفروق الجهد كما يأتي:



شكل (27)

1- خلال مقاومة صرف:

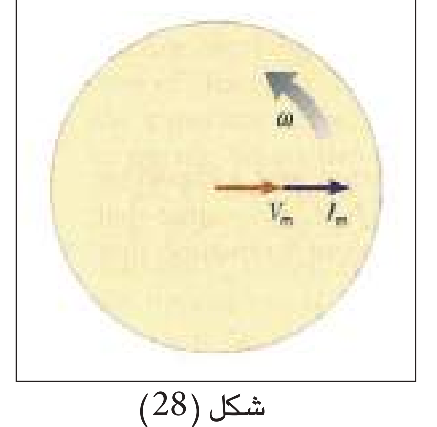
المتجه الطوري للفولطية V_m والمتجه الطوري للتيار I_m خلال المقاومة يكونان بطور واحد (أي إن فرق الطور بينهما يساوي صفرا $\Phi = 0$).

لذا فان الفولطية خلال مقاومة صرف تعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

ويعطى التيار خلال مقاومة صرف بالعلاقة الآتية: الشكل (28)

$$I_R = I_m \sin(\omega t)$$



شكل (28)

2- خلال متسعة ذات سعة صرف:


شكل (29)

متجه الطور لفرق الجهد عبر المتسعة $V_{C\,(max)}$ يتخلف (يتأخر) عن متجه الطور للتيار $I_{C\,(max)}$ بفرق طور يساوي 90^0 $(\Phi = -\pi/2)$. لاحظ الشكل (29)

لذا يعطى فرق الجهد خلال متسعة ذات سعة صرف بالعلاقة التالية:

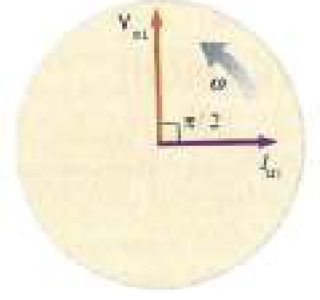
$$V_C = V_m \sin(\omega t - \pi/2)$$

ويعطى التيار خلال متسعة ذات سعة صرف بالعلاقة التالية:

$$I_C = I_m \sin(\omega t)$$

3- خلال محث صرف:

متجه الطور للفولطية عبر المحث V_L يتقدم عن متجه الطور للتيار I_L بزاوية فرق طور قياسها $(\Phi = +\pi/2)$ لاحظ الشكل (30).

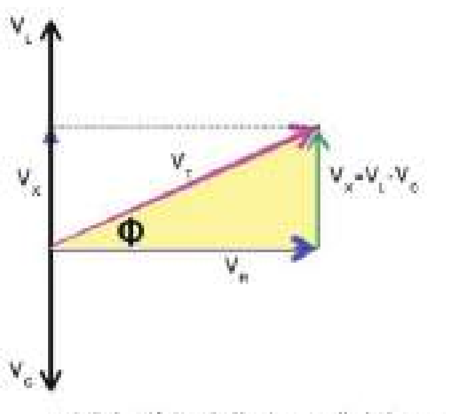

شكل (30)

لذا تعطى الفولطية خلال محث صرف بالعلاقة التالية:

$$V_L = V_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

ويعطى التيار خلال محث صرف بالعلاقة التالية:

$$I_L = I_m \sin(\omega t)$$



الشكل(31)

نرسم التيار على محور الاسناد (كاساس) في دائرةالتيار المتناوب متوالية الربط (التيار متساوي في المقدار في جميع اجزاء دائرة التوالي) وبتمثيل كل من (V_L, V_C, V_R) على وفق المتجهات الطورية نحصل على الشكل (31).

ومتجه الطور للفولطية الكلية (المحصلة) للمتجهات الطورية الثلاث يمثله المتجه V_T

ويمكن حسابه بتطبيق العلاقة التالية:

$$(V_T)^2 = (V_R)^2 + (V_L - V_C)^2$$

من مخطط المتجهات الطورية للفولطيات يمكن حساب زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للفولطية الكلية (المحصلة) ومتجه الطور للتيار في هذه الدائرة:

$$\tan\Phi = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

خواص الدائرة (R-L-C):

أولاً: إذا كانت V_L أكبر من V_C فإن دائرة التيار المتناوب المتوالية الربط التي تحتوي (R-L-C) تكون لها:

- خواصاً حثية.
- زاوية فرق طور Φ موجبة (متجه الطور للفولطية الكلية (V_T) يتقدم عن متجه الطور للتيار I بزاوية فرق طور (Φ). وعلى وفق قانون اوم نحصل على:

المقاومة R: $R = V_R / I$

رادة الحث X_L: $X_L = V_L / I$

رادة السعة X_C: $X_C = V_C / I$

الممانعة الكلية في الدائرة (يرمز لها Z)

وهي المعاكسة المشتركة للمقاومة والرادة

$$Z = \frac{V_T}{I}$$

يرسم مخطط الممانعة كما في الشكل (32-a) إذا كان X_L أكبر من X_C فان للدائرة:

مخطط الطور للممانعة

شكل (32-a)

خواص حثية وتكون زاوية فرق الطور Φ موجبة فنحصل على:

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

$$X = X_L - X_C$$

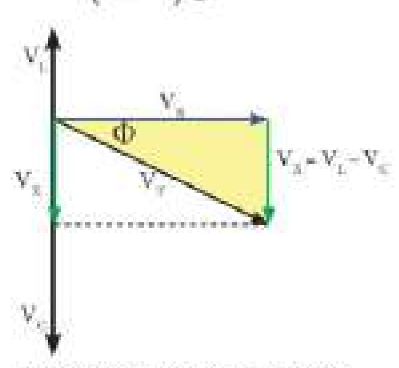
علماً ان الرادة (X) تساوي الفرق بين الرادتين (رادة الحث ورادة السعة)

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

او تحسب زاوية فرق الطور Φ من مثلث الممانعة

$$\tan \Phi = \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

ثانياً: اذا كانت V_L أصغر من V_C فإن دائرة التيار المتناوب المتوالية الربط التي تحتوي (R-L-C) لاحظ الشكل (32-b) تكون لها:



مخطط المتجهات الطورية للفولطيات

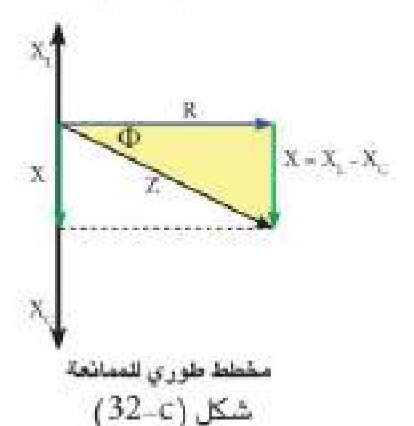
شكل (32-b)



خواص سعوية.

- زاوية فرق طور Φ سالبة (متجه الطور للفولطية الكلية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور Φ).

ويمكن رسم مخطط طوري للممانعة لهذه الدائرة، لاحظ الشكل (32-c) عندما ($X_C > X_L$).



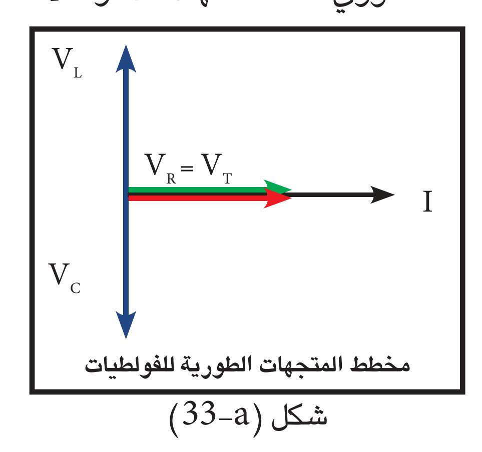
مخطط طوري للممانعة

شكل (32-c)

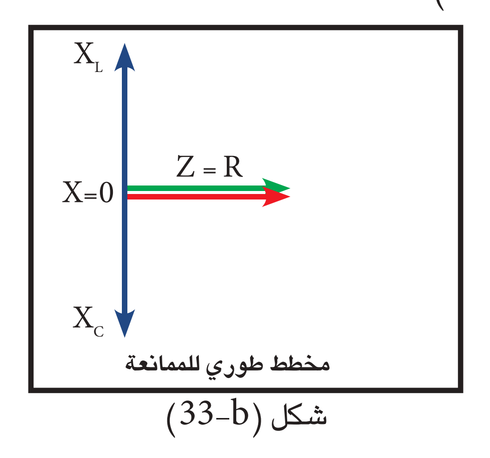
ثالثاً: اذا كانت V_L تساوي V_C فإن دائرة التيار المتناوب المتوالية الربط التي تحتوي (R-L-C) تكون لها:

- خواص مقاومة صرف (أومية)، (وهي حالة الرنين الكهربائي التي سندرسها لاحقاً).
- زاوية فرق طور Φ صفرا (متجه الطور للفولطية الكلية ينطبق على متجه الطور للتيار) لاحظ الشكل (33-a).

ويمكن رسم مخطط طوري للممانعة لهذه الدائرة، لاحظ الشكل (33-b).



شكل (33-a)



شكل (33-b)

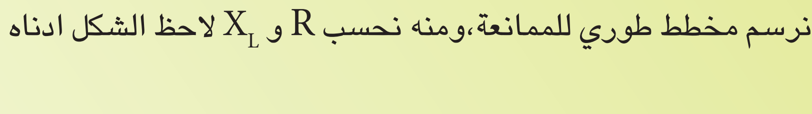
مثال (4)

ربط ملف معامل حثه الذاتي $(L = \frac{\sqrt{3}}{\pi} mH)$ بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق جهده (100V) فكانت زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار 60^o ومقدار التيار المنساب في الدائرة (10A) ما مقدار: 1- مقاومة الملف . 2- تردد المصدر

الحل

1- نحسب الممانعة الكلية في الدائرة:

$$Z = \frac{V_T}{I} = \frac{100}{10} = 10\Omega$$


نرسم مخطط طوري للممانعة،ومنه نحسب R و X_L لاحظ الشكل ادناه

$$\cos \Phi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos 60^\circ = \frac{R}{10} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{R}{10}$$

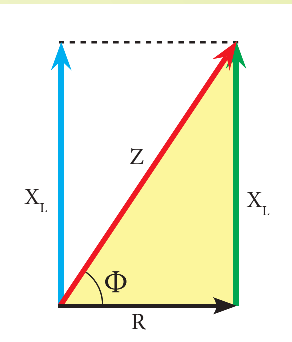
$$R = 5\,\Omega$$

$$Z^2 = R^2 + X_L^{\ 2}$$

$$(10)^2 = (5)^2 + X_L^{\ 2}$$

$$X_L^{\ 2} = 75$$

$$X_L = 5\sqrt{3}\Omega$$



2- لحساب التردد:

$$X_L = 2\pi f L$$

$$5\sqrt{3} = 2\pi f \times \frac{\sqrt{3}}{\pi} \times 10^{-3}$$

$$f = 2500Hz$$

9-3 عامل القدرة (Power factor)

تستهلك القدرة في دوائر التيار المتناوب في المقاومة فقط، وبشكل قدرة حرارية. اما القدرة في محث صرف فهي تختزن في مجاله المغناطيسي في احد ارباع الدورة ثم تعاد الى المصدر في الربع الذي يليه. وكذلك الحال فان القدرة في المتسعة تختزن في مجالها الكهربائي في احد ارباع الدورة ثم تعيدها الى المصدر في الربع الذي يليه. ونفهم من ذلك ان القدرة لاتستهلك في المحث اذا كان محث صرف ولاتستهلك في المتسعة اذا كانت متسعة ذات سعة صرف.

ان القدرة المستهلكة في المقاومة تسمى بالقدرة الحقيقية (P_{real}) تقاس بوحدة (Watt) وتعطى بالعلاقة الآتية:

تقاس بوحدة (Watt)

$$P_{real} = I_R . V_R.$$

ومن مخطط متجهات للفولطية الشكل (34) فان $\cos\Phi = V_R / V_T$

فيكون: $V_R = V_T . \cos\Phi$

فتكون القدرة الحقيقية

$$P_{real} = I_R . V_T \cos\Phi.$$

شكل (34)

وبما ان التيار في دائرة تيار متناوب تحتوي (R–L–C) على التوالي يكون متساوياً في جميع أجزائها:

أي ان

$$I_R = I_L = I_C = I$$

تعوض في المعادلة السابقة فنحصل على:

$$p_{real} = I_T V_T . \cos\Phi$$

والكمية ($I . V_T$) تسمى بالقدرة الظاهرية وهي القدرة الكلية المجهزة للدائرة وتقاس بوحدات (Volt . Amper) ويرمز لها (V.A) وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{app} = I . V_T.$$

وتسمى نسبة القدرة الحقيقية P_{real} الى القدرة الظاهرية P_{app} بعامل القدرة power factor (ويرمز له pf) فيعطى عامل القدرة بالعلاقة الآتية:

$$p\,f = \frac{P_{real}}{P_{app}} = \cos\Phi$$

او

$$pf = \cos\Phi$$

ان مقدار عامل القدرة في دائرة التيار المتناوب يتغير على وفق زاوية فرق الطور (Φ) في الدائرة، فإذا كان:

- الحمل في الدائرة مقاومة صرف فإن زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للفولطية V_R ومتجه الطور للتيار I تساوي صفرا، فإن عامل القدرة يساوي الواحد الصحيح لأن:

$$pf = \cos\Phi = \cos 0 = 1$$

فتكون عندئذ القدرة الحقيقية (المستهلكة) = القدرة الظاهرية (المجهزة) أي:

$$P_{real} = P_{app}$$

- الحمل في الدائرة محث صرف فان زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للفولطية V_L ومتجه الطور للتيار I تساوي 90^0 ، فان عامل القدرة يساوي صفرا. لان: $\cos 90^0 = 0$

$$pf = \cos\Phi = \cos 90^\circ = 0$$

- الحمل في الدائرة متسعة ذات سعة صرف فان زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للفولطية V_C ومتجه الطور للتيار I تساوي 90^0 ، فان عامل القدرة يساوي صفرا. لان: $\cos 90^0 = 0$

$$p\,f = \cos\Phi = \cos 90^\circ = 0$$

مثال (5)

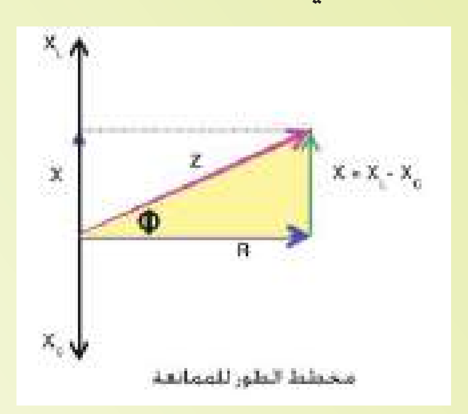
دائرة تيارمتناوب تحتوي مقاومة صرف ومتسعة صرف ومحث صرف (R -L- C) مربوطة مع بعضها على التوالي ومجموعتها مربوطة مع مصدر للفولطية المتناوبة (200V) وكانت:

$(R = 40\Omega$ ، $X_L = 120\Omega$ ، $X_C = 90\Omega)$. احسب مقدار:

1- الممانعة الكلية.
2- التيار المنساب في الدائرة
3- زاوية فرق الطور بين متجه الفولطية الكلية ومتجه التيار. وارسم المخطط الطوري للممانعة. وما خصائص هذه الدائرة؟
4- عامل القدرة.
5- القدرة الحقيقية المستهلكة في المقاومة.
6- القدرة الظاهرية (القدرة المجهزة للدائرة).

الحل

1- نرسم مخطط طوري للممانعة، لاحظ الشكل أدناه:



(1)
$$z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$
$$= (40)^2 + (120 - 90)^2$$
$$= 1600 + 900 = 2500$$
$$Z = 50\Omega$$

(2)
$$I = \frac{V_T}{Z} = \frac{200}{50} = 4A$$

(3)
$$\tan\theta = \frac{(X_L - X_C)}{R}$$
$$= \frac{120 - 90}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

للدائرة خصائص حثية لان

$$\theta = 37^{o}$$

$$X_L > X_C$$

عامل القدرة

$$(4) \quad pf = \cos\theta = \frac{R}{z} = \frac{40}{50} = 0.8$$

القدرة الحقيقية

$$(5) \quad p_{real} = I^2 R$$

$$= (4)^2 \times 40 = 16 \times 40 = 640 \text{ watt}$$

القدرة الظاهرية p_{app}

$$(6) \quad p_{app} = I_T \times V_T$$

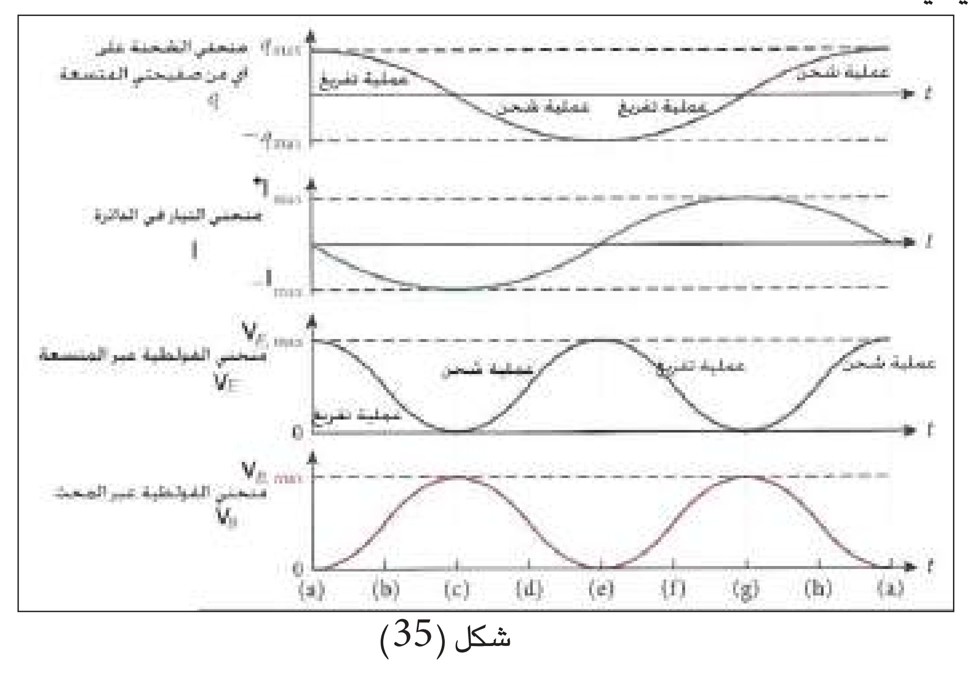
$$= 4 \times 200 = 800 \text{ VA}$$

10-3 الاهتزاز الكهرومغناطيسي Electromagnetic oscillation

تتألف دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي من متسعة ذات سعة صرف متغيرة السعة ومحث صرف.

لقد درست في الفصول السابقة ثلاثة عناصر ، المتسعات ، المقاومات ، المحاثات.

لنفترض الان لدينا دائرة بسيط تتألف من متسعة ذات سعة صرف ومحث صرف، تسمى مثل هذه الدائرة بدائرة المحث–المتسعة (L–C). نجد إن تيار هذه الدائرة وكذلك فرق الجهد يتغير كل منهما كدالة جيبية مع الزمن، لاحظ الشكل (35) هذه التغيرات في الفولطية والتيار في دائرة المحث–المتسعة (L–C) تسمى الاهتزازات الكهرومغناطيسية.



شكل (35)

وقد عرفت أن الطاقة المخزونة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة ذات السعة (C) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$PE_{electric} = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$

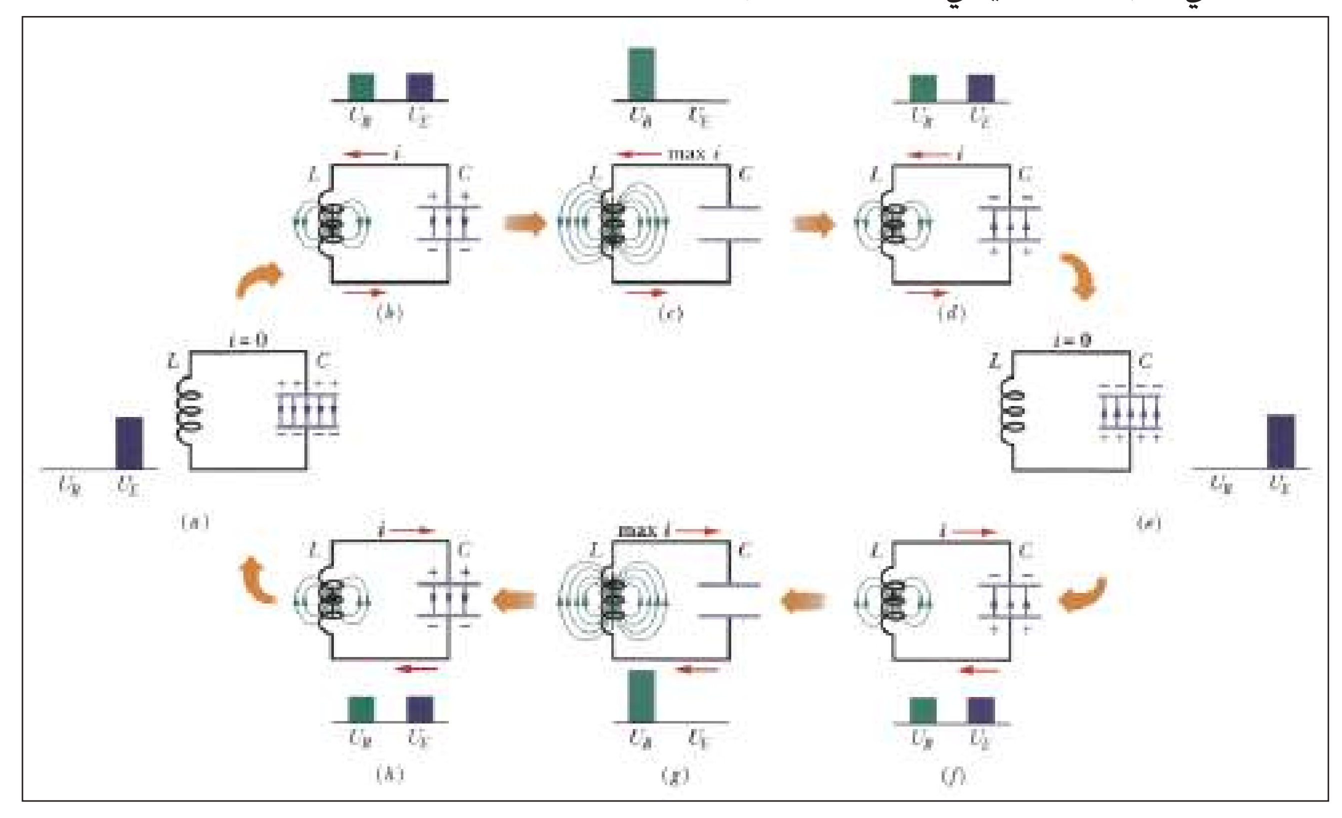
اذ ان Q تمثل مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي متسعة ذات سعة صرف سعتها C.

وإن الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي لمحث صرف ذي معامل الحث الذاتي L تعطى بالعلاقة الآتية:

$$PE_{magnetic} = \frac{1}{2} \times L\, I^2$$

إذ إن : I يمثل التيار المنساب خلال المحث الصرف.

الشكل (36) يمثل عمليات تبادل الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة والطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث خلال دورة كاملة.

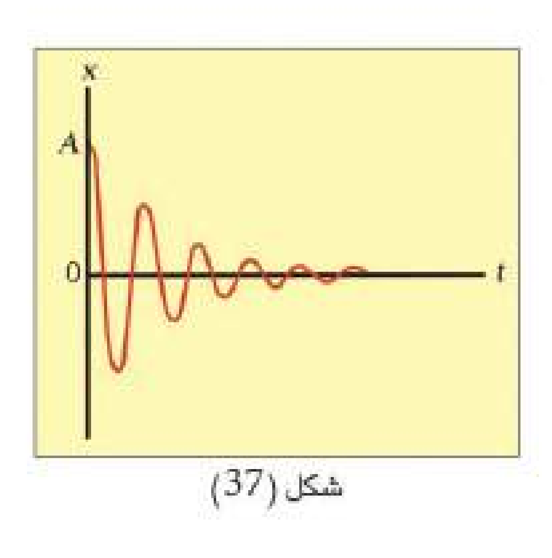


الشكل (36)

ابتداءً، الشكل (a) تكون المتسعة مشحونة بكامل شحنتها وعندئذ تكون الطاقة الكلية في هذه الدائرة قد اختزنت في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة، وبعد ذلك تبدأ المتسعة بتفريغ شحنتها خلال المحث، الشكل (b)، وفي هذه اللحظة ينساب تيار في المحث مولدا مجالا مغناطيسيا، وعندئذ يكون قسما من الطاقة الكلية للدائرة مختزنا في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة والقسم الاخر يختزن في المجال المغناطيسي للمحث.

الشكل (c) يبين إن المتسعة قد تفرغت تماما من جميع شحنتها وهذا يعني ان التيار المنساب خلال المحث يكون عند قيمته العظمى. وعندئذ تكون جميع الطاقة في الدائرة قد اختزنت في المجال المغناطيسي للمحث. وبعد ذلك تنشحن المتسعة من جديد وتختزن الطاقة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة ثم تتفرغ المتسعة من شحنتها لكي تخزن الطاقة في المجال المغناطيسي للمحث. وهكذا يستمر تناوب اختزان الطاقة بين المتسعة والمحث من غير نقصان وذلك لان الدائرة لاتتوافر فيها مقاومة تتسبب في ضياع طاقة.

في حين نجد سعة اهتزاز الطاقة في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطسي العملية التي تحتوي متسعة وملفاً (غير مهمل المقاومة) تتلاشى مع الزمن بسبب احتواء مثل هذه الدائرة مقاومة لاحظ الشكل (37). بما ان الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة والتيار المنساب في المحث يتغيران كدالة جيبية مع الزمن فان الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة تعتمد على مربع الشحنة (Q^2) المختزنة في أي من صفيحتيها والطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي للمحث تعتمد على مربع التيار (I^2) فان هذا يعني ان الطاقة الكهربائية والطاقة المغناطيسية تتغير كل منهما بين الصفر والقيمة العظمى كدالة للزمن.



شكل (37)

يمكن الحصول على حالة الرنين في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي اذا تم توليف هذه الدائرة مع تردد الاشارة المطلوب تسلمها (أي جعل تردد دائرة الاستقبال مساويا لتردد الاشارة المطلوب تسلمها) وهذا ما يحدث في عملية التوليف بين محطات الاذاعة أو التلفاز وتردد اجهزة الاستقبال في البيوت، وذلك بتغير سعة المتسعة في الدائرة المهتزة. وبما أن شرط الرنين الكهربائي هو تساوي رادة الحث ($X_L = \omega L$) مع رادة السعة ($X_C = 1/\omega C$)

يعطى التردد الطبيعي للدائرة المهتزة بالعلاقة الآتية:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{او} \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3- 11 الرنين في دوائر التيار المتناوب

أن الأهمية العملية لدوائر التيار المتناوب (L-R-C) متوالية الربط تكمن في الطريقة التي تتجاوب فيها مثل هذه الدوائر مع مصادر ذوات ترددات مختلفة. والتي تجعل القدرة المتوسطة المنتقلة الى الدائرة بأكبر مقدار.

كمثال على ذلك دوائر التنغيم المستعملة في المستقبلات في أجهزة الراديو وهي ببساطة دائرة (L-R-C) متوالية الربط، لاحظ الشكل (38) يبين تأثير مقدار المقاومة في مقدار منحني التيار عند التردد الرنيني فعندما يكون مقدار المقاومة صغيراً (مثلا 200Ω) يكون منحني التيار رفيعاً (حاداً) ومقداره كبيراً. وإذا كانت المقاومة كبيرة (مثلاً 1000Ω) فانها تجعل منحني التيار واسعاً ومقداره صغيراً.

شكل (38)

إن الإشارة الراديوية عند تردد معين تنتج تيارا يتغير بالتردد نفسه في دائرة الاستقبال، ويكون هذا التيار باعظم مقدار إذا كان تردد دائرة الاستقبال (دائرة التنغيم) مساويا لتردد الإشارة المتسلمة، وعندها تكون رادة الحث $(X_L = \omega L)$ مساوية لرادة السعة $(X_C = 1/\omega C)$ وهذا يجعل ممانعة الدائرة بأقل مقدار $(Z=R)$.

فتسمى هذه الحالة الرنين الكهربائي.

أي ان $\omega L = 1/\omega C$

إذ إن: ω تمثل التردد الزاوي $(\omega = 2\pi f)$

(L تمثل معامل الحث الذاتي للمحث ، C تمثل سعة المتسعة) فتكون: $\omega^2_r = \dfrac{1}{LC}$

ومنها نحصل على التردد الزاوي للرنين: $\omega_r = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ او التردد الرنيني في الدائرة: $f_r = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

يمكن تغيير التردد الرنيني f_r للدائرة وذلك بتغير أما مقدار سعة المتسعة C او تغير معامل الحث الذاتي L للمحث، نجد ان التيار يتغير بتغير تردد الدائرة ويصل مقداره الاعظم (ذروته) عند تردد معين يسمى التردد الرنيني.

وإذا كان تردد الدائرة متوالية الربط (تحتوي R-L-C) أكبر من التردد الرنيني، فتعمل هذه الدائرة بخواص حثية لانه تكون: $X_L > X_C$ وكذلك تكون: $V_L > V_C$

وإذا كان تردد هذه الدائرة أصغر من التردد الرنيني، فتعمل هذه الدائرة بخواص سعوية لانه تكون:

$X_L < X_C$ وكذلك تكون $V_L < V_C$

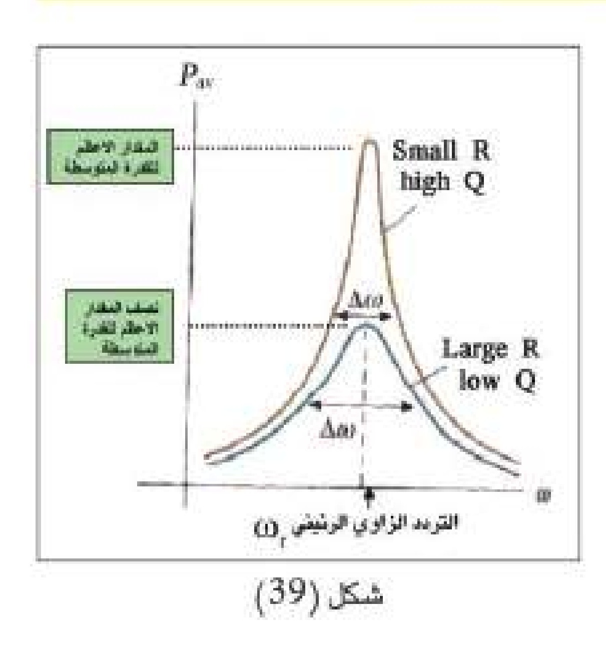
وإذا كان تردد هذه الدائرة يساوي التردد الرنيني فتعمل هذه الدائرة بخواص مقاومة صرف لانه تكون:

$X_C = X_L$ وكذلك تكون $V_L = V_C$

12-3 عامل النوعية Quality Factor

تتحقق حالة الرنين في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي (R, L & C)، عندما يكون التردد الزاوي للدائرة مساويا للتردد الرنيني، أي ان: $\omega = \omega_r$

تكون عندها القدرة المتوسطة (P_{av}) بمقدارها الاعظم، وعندئذ يمكن تمثيل القدرة المتوسطة والتردد الزاوي لمقدارين مختلفين للمقاومة برسم بياني. لاحظ الشكل (39).



شكل (39)

- عندما تهبط القدرة المتوسطة الى نصف مقدارها الاعظم نحصل على قيمتين للتردد الزاوي لاحظ الشكل (39) ω_2 و ω_1 على جانبي التردد الزاوي الرنيني ω_r

ان الفرق بين التردد الزاوي عند منتصف المقدار الاعظم للقدرة المتوسطة يسمى نطاق التردد الزاوي $(\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1)$ ونطاق التردد الزاوي يتغير طردياً مع المقاومة R وعكسياً مع معامل الحث الذاتي للملف.

$$\Delta\omega = R / L$$

ان النسبة بين مقداري التردد الزاوي الرنيني ω_r ونطاق التردد الزاوي $\Delta\omega$ يسمى عامل النوعية (Quality fator). ويرمز له (Qf).

يعرف عامل النوعية للدائرة الرنينية بانه:

(نسبة التردد الزاوي الرنيني ω_r ونطاق التردد الزاوي $\Delta\omega$)

$$Qf = \frac{\omega_r}{\Delta\omega}$$

$$Qf = \frac{\frac{1}{\sqrt{LC}}}{R / L}$$

ومن ثم فإن عامل النوعية يعطى بالعلاقة الآتية:

$$Qf = \frac{1}{R} \times \sqrt{\frac{L}{C}}$$

فعندما تكون المقاومة في الدائرة صغيرة المقدار، تجعل منحني القدرة المتوسطة حادا، فيكون عرض نطاق التردد الزاوي $(\Delta\omega)$ صغيرا، وعندئذ يكون عامل النوعية Qf لهذه الدائرة عاليا.

أما عندما تكون المقاومة في الدائرة كبيرة المقدار، فتجعل منحني القدرة المتوسطة واسعا (عريضا)، فيكون عرض نطاق التردد الزاوي $(\Delta\omega)$ كبيرا، وعندئذ يكون عامل النوعية Qf لهذه الدائرة واطئاً .

مثال (6) دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف $(R = 500\,\Omega)$ ومحث صرف $(L = 2H)$ ومتسعة ذات سعة صرف $(C = 0.5\,\mu F)$ ومذبذبا كهربائيا مقدار فرق الجهد بين طرفيه (100V) ثابتا والدائرة في حالة رنين. احسب مقدار:

1- التردد الزاوي الرنيني.

2- رادة الحث ورادة السعة والرادة المحصلة.

3- التيار المنساب في الدائرة.

4- الفولطية عبر كل من (المقاومة والمحث والمتسعة والرادة المحصلة).

5- زاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار، وعامل القدرة.

الحل

1- التردد الزاوي الرنيني:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{2\times0.5\times10^{-6}}} = 1000\ rad/s$$

2- رادة الحث:

$$X_L = \omega_r L = 1000\ rad/s\ (2H) = 2000\ \Omega$$

رادة السعة:

$$X_C = 1/\omega_r C = 1/\left[1000\ rad/s\ (0.5\times10^{-6})\right] = 2000\Omega$$

الرادة المحصلة:

$$X = X_L - X_C = 0$$

3- بما أن الدائرة في حالة رنين: فإن الممانعة الكلية $Z = R = 500\Omega$

$$I = V/Z = 100V/500\ \Omega$$

$$I = 0.2A$$

4-

$$V_R = I.R = 0.2\times500 = 100V$$

$$V_L = I.\ X_L = 0.2A\ (2000\ \Omega) = 400V$$

$$V_C = I.\ X_C = 0.2A\ (2000\ \Omega) = 400V$$

$$V_X = V_L - V_C = 0$$

5-

$$\tan\Phi = X/R = 0$$

فتكون زاوية فرق الطور Φ = صفرا (متجه الطور للفولطية ومتجه الطور للتيار يكونان بطور واحد في الدائرة الرنينية)

$$pf = \cos\Phi = \cos0^\circ = 1$$

13-3 دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C)

عند ربط كل من المقاومة الصرف والمحث الصرف والمتسعة الصرف على التوازي مع بعضها ومجموعتها ربطت على التوالي بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة، لاحظ الشكل (40).

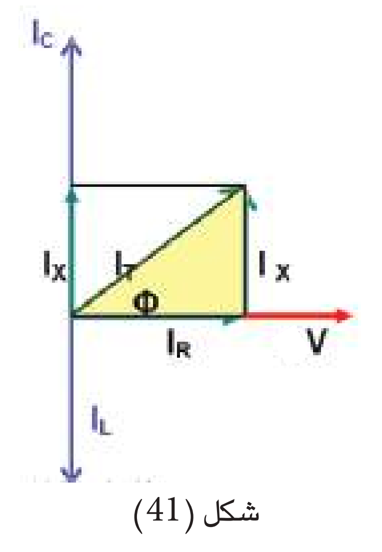
وعند رسم مخطط متجهات الطور للتيارات يتخذ المحور الافقي X كمحور اسناد (محور مرجعي) فتكون متجهات الطور للفولطيات في دائرة متوازية الربط منطبقا على المحور X .

شكل (40)

أما متجهات الطور للتيارات فيعمل كل منهم زاوية فرق طور Φ مع المحور X، في هذا النوع من الربط يتحقق امرين مهمين:

اولاً : فروق الجهد بين طرفي كل عنصر من عناصر هذه الدائرة تكون متساوية.

ثانياً: ان التيار الرئيس يتفرع الى الفروع التي تحتوي كل عنصر من عناصر الدائرة المتوازية. والتيار الرئيس I في نقطة التفرع للتيارات المنسابة في العناصر المكونة لها لايساوي المجموع الجبري للتيارات الفرعية $(I_R، I_L ، I_C)$ وذلك بسبب وجود زاوية فرق في الطور Φ بين كل من المتجهات الطورية لهذه التيارات ومتجه الطور للفولطية في الدائرة والذي ينطبق على محور الاسناد الافقي X

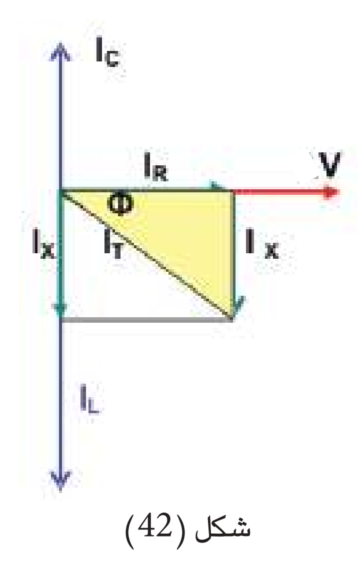


شكل (41)

فاذا كان:

مقدار متجه الطور للتيار خلال المتسعة I_C أكبر من مقدار متجه الطور للتيار خلال المحث I_L ، فإن للدائرة متوازية الربط:

- خواص سعوية.
- تكون زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للتيار الكلي I_T ومتجه الطور للفولطية V موجبة
- متجه الطور للتيار الكلي I_T يتقدم عن متجه الطور للفولطية V بزاوية فرق طور Φ ، لاحظ الشكل (41)



شكل (42)

اما اذا كان:

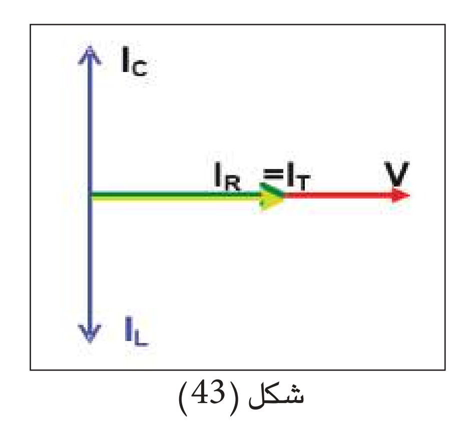
مقدار متجه الطور للتيار خلال المتسعة I_C أصغرمن مقدار متجه الطور للتيار خلال المحث I_L ، فإن للدائرة متوازية الربط:

- خواص حثية.
- تكون زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للتيار الكلي I_T ومتجه الطور للفولطية V سالبة.
- متجه الطور للتيار الكلي I_T يتأخر عن متجه الطور للفولطية V بزاوية فرق طور Φ، لاحظ الشكل (42)

اما اذا كان :

متجه الطور للتيار خلال المتسعة I_C يساوي متجه الطور للتيار خلال المحث I_L ، فان للدائرة متوازية الربط:

- خواص مقاومة صرف (اومية).
- تكون زاوية فرق الطور Φ بين متجه الطور للتيار الكلي I_T ومتجه الطور للفولطية V صفرا
- متجه الطور للتيار الكلي I_T ينطبق على متجه الطور للفولطية V لاحظ الشكل (43)



شكل (43)

مثال (7)

دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي (مقاومة صرف R ومتسعة ذات سعة صرف C ومحث صرف L). ربطت المجموعة بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه (240V) وكان مقدار المقاومة (80Ω) ورادة الحث (20Ω) ورادة السعة (30Ω) احسب مقدار:

1- التيار المنساب في كل فرع من فروع الدائرة.

2- احسب مقدار التيار الرئيس المنساب في الدائرة مع رسم مخطط متجهات الطور للتيارات.

3- الممانعة الكلية في الدائرة.

4- زاوية فرق الطور بين المتجه الطوري للتيار الرئيس ومتجه الطور للفولطية في الدائرة، وما هي خصائص هذه الدائرة.

5- عامل القدرة.

6- كل من القدرة الحقيقية (المستهلكة في الدائرة) والقدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة).

الحل

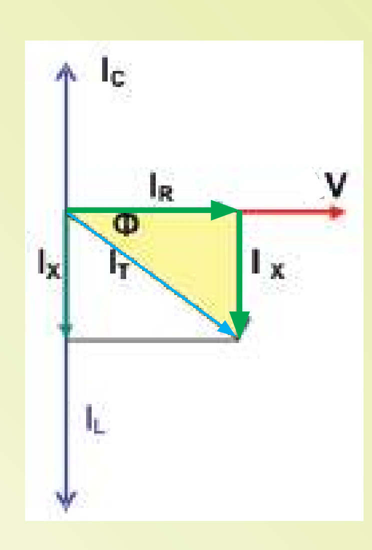
1- بما أن الربط على التوازي فإن $V_R = V_L = V_C = V_T = 240V$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{240V}{80\Omega} = 3A$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{240V}{30\Omega} = 8A$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{240V}{20\Omega} = 12A$$

2- نرسم مخطط الطور للتيارات كما في الشكل ادناه ومنه نحسب التيار الرئيس في الدائرة



$$I_{total} = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$I_{total} = \sqrt{3^2 + (8-12)^2}$$

$$I_{total} = \sqrt{25} = 5A$$

3- $$Z = \frac{V}{I_{total}} = \frac{240}{5} = 48\Omega$$

4- $$\tan\Phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{8-12}{3} = -\frac{4}{3}$$

$$\Phi = -53^\circ$$

للدائرة خصائص حثية لان زاوية فرق الطور (Φ) بين متجه الطور للتيار الرئيس ومتجه الطور للفولطية سالبة وتقع في الربع الرابع.

5- نحسب عامل القدرة (P.f) من المخطط الطوري للتيارات

$$P.f = \cos\Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{3}{5} = 0.6$$

6- لحساب القدرة الحقيقية (المستهلكة في الدائرة)

$P_{real} = I_{R.} V_{R.}$ تقاس بوحدة (Watt)

$$P_{real} = 3 \times 240 = 720W$$

لحساب القدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة)

$P_{app} = I_T \; V_{T.}$ تقاس بوحدة (VA)

$$P_{app} = 5 \times 240 = 1200\ VA$$

أسئلة الفصل الثالث ؟

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- دائرة تيار متناوب متوالية الربط، الحمل فيها يتألف من مقاومة صرف (R) يكون فيها مقدار القدرة المتوسطة لدورة كاملة أو لعدد صحيح من الدورات:

a- يساوي صفرا، ومتوسط التيار يساوي صفرا.

b- يساوي صفرا، ومتوسط التيار يساوي نصف المقدار الاعظم للتيار.

c- نصف المقدار الاعظم للقدرة، ومتوسط التيار يساوي صفرا.

d- نصف المقدار الاعظم للقدرة، ومتوسط التيار يساوي نصف المقدار الاعظم للتيار.

2- دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي محث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف (L-C-R).

لايمكن أن يكون فيها:

a- التيار خلال المتسعة متقدما على التيار خلال المحث بفرق طور $(\Phi = \pi)$.

b- التيار خلال المتسعة متقدما على التيار خلال المقاومة بفرق طور $(\Phi = \pi/2)$.

c- التيار خلال المقاومة والتيار خلال المتسعة يكونان بالطور نفسه $(\Phi = 0)$.

d- التيار خلال المحث يتأخر عن التيار خلال المقاومة بفرق طور $(\Phi = \pi/2)$.

3- في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي، عند اللحظة التي يكون فيها مقدار التيار صفرا، تكون الطاقة المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة فيها:

a- صفرا. b- باعظم مقدار c- نصف مقدارها الاعظم d- تساوي 0.707 من مقدرها الاعظم

4- دائرة تيار متناوب، تحتوي مذبذب كهربائي فرق جهده ثابت المقدار، ربطت بين طرفيه متسعة ذات سعة صرف سعتها ثابتة المقدار، عند ازدياد تردد فولطية المذبذب:

a- يزداد مقدارالتيار في الدائرة.

b- يقل مقدار التيار في الدائرة.

c- ينقطع التيار في الدائرة.

d- أي من العبارات السابقة، يعتمد ذلك على مقدار سعة المتسعة.

5- دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محثا صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف (L-C-R)، فان جميع القدرة في هذه الدائرة:

a- تتبدد خلال المقاومة. b- تتبدد خلال المتسعة.

c- تتبدد خلال المحث. d- تتبدد خلال العناصر الثلاث في الدائرة.

6– دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محثا صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف (L–C–R)، ومذبذب كهربائي، عندما يكون تردد المذبذب اصغر من التردد الرنيني لهذه الدائرة، فأنها تمتلك:

a– خواص حثية، بسبب كون: $X_L > X_C$

b– خواص سعوية، بسبب كون: $X_C < X_L$

c– خواص اومية خالصة، بسبب كون: $X_L = X_C$

d– خواص سعوية، بسبب كون: $X_C > X_L$

7– دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي محث صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف (L–C–R) عندما تكون الممانعة الكلية للدائرة بأصغر مقدار وتيار هذه الدائرة باكبر مقدار، فان مقدار عامل القدرة فيها:

a– اكبر من الواحد الصحيح.

b– اقل من الواحد الصحيح.

c– يساوي صفرا.

d– يساوي واحد صحيح.

8– دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي ملف غير مهمل المقاومة (L–R)، لجعل عامل القدرة في هذه الدائرة يساوي الواحد الصحيح تربط في هذه الدائرة متسعة على:

a– التوالي مع الملف بشرط ان تكون رادة الحث X_L اصغر من رادة السعة X_C

b– التوازي مع الملف بشرط ان تكون رادة الحث X_L تساوي رادة السعة X_C.

c– التوالي مع الملف بشرط ان تكون رادة الحث X_L اكبر من رادة السعة X_C.

d– التوالي مع الملف بشرط ان تكون رادة الحث X_L تساوي رادة السعة X_C.

9– دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي محثا صرف ومتسعة ذات سعة صرف ومقاومة صرف (L–C–R) تكون لهذه الدائرة خواص حثية اذا كانت:

a– رادة الحث X_L اكبر من رادة السعة X_C.

b– رادة السعة X_C اكبر من رادة الحث X_L.

c– رادة الحث X_L تساوي رادة السعة X_C.

d– رادة السعة X_C اصغر من المقاومة

10– عند دوران ملف بسرعة زاوية منتظمة داخل مجال مغناطيسي منتظم نحصل على فولطية محتثة متناوبة ويكون أعظم مقدار لها عندما تكون زاوية الطور (ωt) تساوي :

a – $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ b – $\frac{\pi}{2}$

c – π d – 2π

س2 أثبت ان كل من رادة الحث ورادة السعة تقاس بالأوم.

س3 بين بوساطة رسم مخطط بياني، كيف تتغير كل من:
رادة الحث مع تردد التيار ورادة السعة مع تردد الفولطية.

س4 دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C) مربوطة على التوالي مع بعضها وربطت مجموعتهما مع مصدرا للفولطية المتناوبة. ما العلاقة بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار في الحالات الآتية:

a- رادة الحث تساوي رادة السعة $(X_L = X_C)$

b- رادة الحث اكبر من رادة السعة $(X_L > X_C)$

c- رادة الحث اصغر من رادة السعة $(X_L < X_C)$

س5 دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C) على التوالي مع بعضها. وربطت مجموعتهما مع مصدر للفولطية المتناوبة.
وضح كيف يتغير مقدار كل من المقاومة ورادة الحث ورادة السعة، اذا تضاعف التردد الزاوي للمصدر.

س6 علام يعتمد مقدار كل مما يأتي:

1- الممانعة الكلية لدائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C).

2- عامل القدرة في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C).

3- عامل النوعية في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C).

س7 ما الذي تمثله كل من الأجزاء الموجبة والأجزاء السالبة في منحني القدرة الآنية في دائرة تيار متناوب تحتوي فقط:

1- محث صرف.

2- متسعة ذات سعة صرف.

س8 اجب عن الاسئلة الاتية :

a- لماذا يفضل استعمال محث صرف في التحكم بتيار التفريغ في مصباح الفلورسينت ولا تستعمل مقاومة صرف؟

b- ما هي مميزات دائرة رنين التوالي الكهربائية التي تحتوي (مقاومة ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف) ومذبذب كهربائي؟

c- ما مقدار عامل القدرة في دائرة تيار متناوب (مع ذكر السبب)، إذا كان الحمل فيها يتألف من:

1- مقاومة صرف. 2- محث صرف. 3- متسعة ذات سعة صرف.

4- ملف ومتسعة والدائرة متوالية الربط ليست في حالة رنين.

س9 ما المقصود بكل من :

1- عامل القدرة ؟

2- عامل النوعية ؟

3- المقدار المؤثر للتيار المتناوب؟

4- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي؟

س10 دائرة تيار متناوب تحتوي مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف (R-L-C) على التوالي مع بعضها. وربطت مجموعتهما مع مصدرللفولطية المتناوبة. وكانت هذه الدائرة في حالة رنين. وضح ما هي خصائص هذه الدائرة وما علاقة الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار، إذا كان ترددها الزاوي:

1- أكبر من التردد الزاوي الرنيني.

2- أصغر من التردد الزاوي الرنينى.

3- يساوي التردد الزاوي الرنيني.

س11 ربط مصباح كهربائي على التوالي مع متسعة ذات سعة صرف ومصدرا للتيارالمتناوب. عند أي من الترددات الزاوية العالية ام الواطئة؟ يكون المصباح اكثر توهجا ؟ وعند أي منها يكون المصباح أقل توهجا (بثبوت مقدار فولطية المصدر)؟ وضح ذلك.

س12 ربط مصباح كهربائي على التوالي مع محث صرف ومصدرا للتيار المتناوب. عند أي من الترددات الزاوية العالية أم الواطئة يكون المصباح أكثر توهجا ؟ وعند أي منها يكون المصباح أقل توهجا ؟ (بثبوت مقدار فولطية المصدر) وضح ذلك.

مسائل الفصل الثالث

س1 مصدر للفولطية المتناوبة، ربطت بين طرفيه مقاومة صرف مقدارها $250\ \Omega$، فرق الجهد بين طرفي المصدر يعطى بالعلاقة التالية $V_R = 500 \sin (200 \pi t)$

1- اكتب العلاقة التي يعطى بها التيارفي هذه الدائرة.

2- احسب المقدار المؤثر للفولطية والمقدار المؤثر للتيار

3- تردد المصدر والتردد الزاوي للمصدر.

س2 دائرة اهتزاز كهرومغناطيسي تتألف من متسعة ذات سعة صرف سعتها $\left(\frac{50}{\pi}\right) \mu F$ ومحث صرف معامل حثه الذاتي $\left(\frac{5}{\pi} mH\right)$. أحسب:

1- التردد الطبيعي لهذه الدائرة

2- التردد الزاوي الطبيعي لهذه الدائرة

س3 مذبذب كهربائي مقدار فرق الجهد بين طرفيه ثابت $(1.5V)$ اذا تغير تردده من $(1Hz)$ الى $(1MHz)$.

أحسب مقدار كل من ممانعة الدائرة وتيار الدائرة عندما يربط بين طرفي المذبذب:

أولاً: مقاومة صرف فقط $(R = 30\Omega)$

ثانياً: متسعة ذات سعة صرف فقط سعتها $(C = \frac{1}{\pi} \mu F)$

ثالثاً: محث صرف فقط معامل حثه الذاتي $L = \frac{50}{\pi} mH$

س4 ربط ملف بين قطبي بطارية فرق الجهد بينهما $(20V)$ كان تيار الدائرة $(5A)$. فاذا فصل الملف عن البطارية وربط بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة المقدار المؤثر لفرق الجهد بين قطبيه $(20V)$ بتردد $\left(\frac{700}{22} Hz\right)$ كان تيار هذه الدائرة $(4A)$. أحسب مقدار:

1- معامل الحث الذاتي للملف

2- زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار مع رسم مخطط طوري للممانعة.

3- عامل القدرة.

4- كل من القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية.

س5 مقاومة صرف مقدارها (150Ω) ربطت على التوالي مع ملف مهمل المقاومة معامل حثه الذاتي $(0.2H)$ ومتسعة ذات سعة صرف، ربطت المجموعة بين قطبي مصدر للفولطية المتناوبة تردده $\left(\frac{500}{\pi}Hz\right)$ وفرق الجهد بين طرفيه 300V. احسب مقدار:

1- سعة المتسعة التي تجعل الممانعة الكلية في الدائرة $(150\ \Omega)$.

2- عامل القدرة في الدائرة. وزاوية فرق الطور بين الفولطية الكلية والتيار.

3- ارسم المخطط الطوري للممانعة.

4- تيار الدائرة.

5- كل من القدرة الحقيقية (المستهلكة) والقدرة الظاهرية (المجهزة للدائرة).

س6 دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي مقاومة صرف ومتسعة ذات سعة صرف مقدارها $(20\mu F)$ ومحث صرف ومصدر للفولطية المتناوبة فرق الجهد بين طرفيه $(100V)$ بتردد $\left(\frac{100}{\pi}Hz\right)$، كانت القدرة الحقيقية في الدائرة $(80W)$ وعامل القدرة فيها (0.8) وللدائرة خصائص حثية. احسب مقدار:

1- التيار في فرع المقاومة والتيار في فرع المتسعة.

2- التيار الكلي.

3- زاوية فرق الطور بين التيار الكلي والفولطية مع رسم مخطط المتجهات الطورية للتيارات.

4- معامل الحث الذاتي للمحث.

س7 دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي ملف مقاومته (10Ω) ومعامل حثه الذاتي $(0.5H)$ ومقاومة صرف مقدارها (20Ω) ومتسعة ذات سعة صرف ومصدرا للفولطية المتناوبة تردده $\left(\frac{100}{\pi}Hz\right)$ وفرق الجهد بين طرفيه $(200V)$ كان مقدار عامل القدرة فيها (0.6) وللدائرة خصائص سعوية. احسب مقدار:

1- التيار في الدائرة. 2- سعة المتسعة.

3- ارسم مخطط الممانعة واحسب قياس زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار.

س8 مصدر للفولطية المتناوبة تردده الزاوي $(400\ rad/s)$ وفرق الجهد بين قطبيه $(500V)$ ربط بين قطبيه على التوالي (متسعة سعتها $(10\ \mu F)$ وملف معامل حثه الذاتي $(0.125H)$ ومقاومته $(150\ \Omega)$) ما مقدار:

1- الممانعة الكلية وتيار الدائرة.

2- فرق الجهد عبر كل من المقاومة والمحث والمتسعة.

3- زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار. ما هي خصائص هذه الدائرة؟.

4- عامل القدرة.

س9 دائرة تيار متناوب متوازية الربط تحتوي (مقاومة صرف ومحث صرف ومتسعة ذات سعة صرف) ومصدرا للفولطية المتناوبة مقدار فرق الجهد بين طرفيه 480V بتردد Hz (100) وكان مقدار القدرة الحقيقية المستهلكة في الدائرة (1920W) ومقدار رادة السعة (32Ω) ومقدار رادة الحث (40Ω)، ما مقدار:

1- التيار المنساب في كل من فرع المقاومة وفي فرع المتسعة وفي فرع المحث والتيار الرئيس في الدائرة.

2- ارسم مخطط المتجهات الطورية للتيارات.

3- قياس زاوية فرق الطور بين متجه الطور للتيار الرئيس ومتجه الطور للفولطية. وما هي خواص هذه الدائرة.

4- عامل القدرة في الدائرة.

5- الممانعة الكلية في الدائرة.

س10 مقاومة (30Ω) ربطت على التوازي مع متسعة ذي سعة خالصة وربطت هذه المجموعة عبر قطبي مصدر للفولطية المتناوبة بتردد Hz (50) فاصبحت الممانعة الكلية للدائرة (24Ω) والقدرة الحقيقية (480 W) فما مقدار سعة المتسعة ؟ ارسم مخطط المتجهات الطورية للتيارات.

س11 دائرة تيار متناوب متوالية الربط الحمل فيها ملف مقاومته (500Ω) ومتسعة متغيرة السعة. عندما كان مقدار سعتها (50 nF) ومصدر للفولطية المتناوبة مقدارها (400V) بتردد زاوي (10^4 rad/s)، كانت القدرة الحقيقية (المستهلكة) في هذه الدائرة تساوي القدرة الظاهرية (المجهزة)، إحسب مقدار:

1- معامل الحث الذاتي للملف. وتيار الدائرة.

2- كل من رادة الحث ورادة السعة.

3- زاوية فرق الطور بين متجه الطور للفولطية الكلية ومتجه الطور للتيار وما مقدار عامل القدرة.

4- عامل النوعية للدائرة.

5- سعة المتسعة التي تجعل متجه الطور للفولطية الكلية يتأخر عن متجه الطور للتيار بزاوية فرق طور ($\frac{\pi}{4}$)

الفصل الرابع 4

الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves





الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

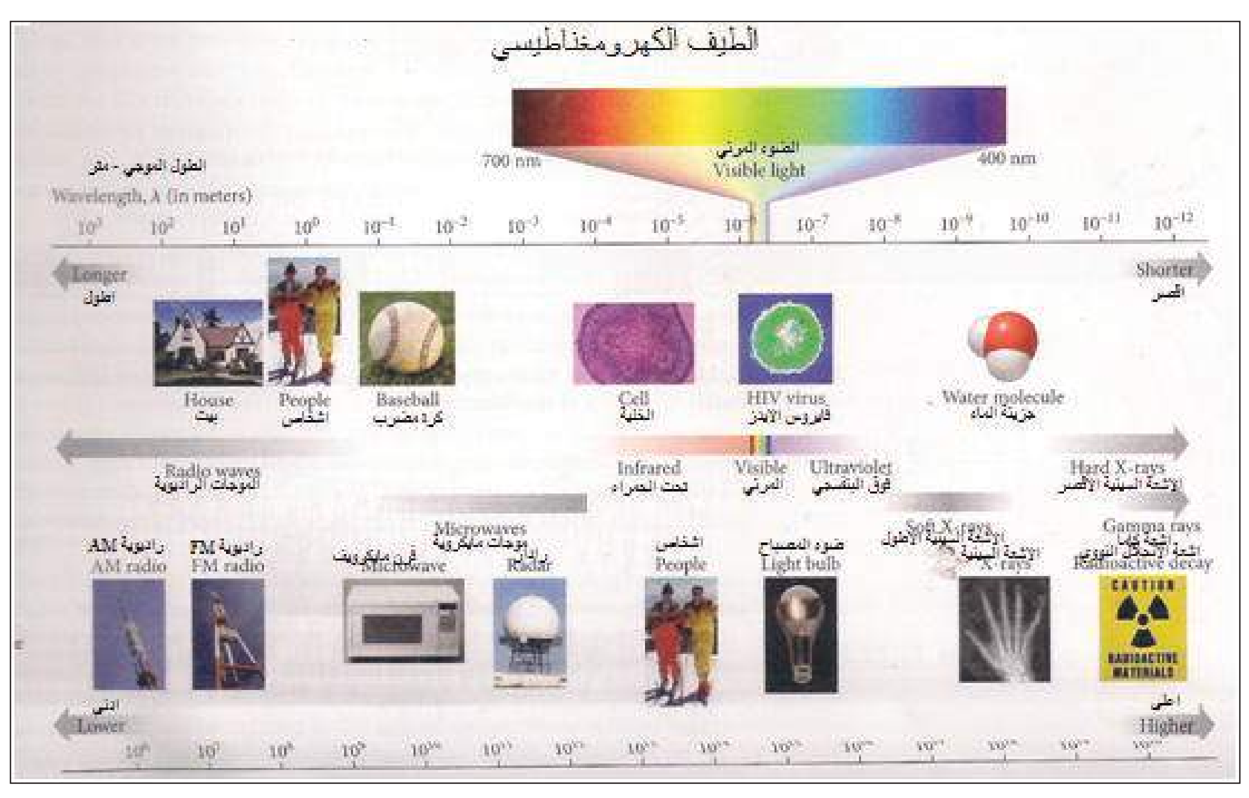
- يذكر الموجات الكهرومغناطيسية وأهم خصائصها.
- يعرف كيفية انتشار الموجات الكهرومغناطيسية.
- يعرف طريقة توليد الموجات الكهرومغناطيسية في الدائرة المهتزة.
- يعرف كيفية ارسال واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية.
- يوضح اصل نشوء الموجة الكهرومغناطيسية.
- كيف يعمل هوائي الارسال والاستقبال للموجات الراديوية.
- يتعرف طرائق كشف الموجات الكهرومغناطيسية.
- يدرك عملية تضمين الموجات الكهرومغناطيسية وكيفية نقل المعلومات.
- يتعرف بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية مثل (الرادار ، التحسس النائي ، الهاتف النقال).

المصطلحات العلمية	
تيار الازاحة	Displacemant current
مولد ذبذبات	Oscillator
مرسل	Transmitter
مستقبل	Receiver
ثنائي قطب كهربائي	Electric dipole
هوائي	Antenna
دائرة مهتزة	Oscillation circuit
مضخم	Amplifier
تضمين	Modulation
تضمين تماثلي	Analog Modulation
تضمين سعوي	Amplitude Modulation
تضمين ترددي	Frequency Modulation
تضمين طوري	Phase Modulation
موجة ارضية	Ground wave
موجة سماوية	Sky wave
موجة فضائية	Space wave
كشف	Detection

1-4 مقدمة

في حياتنا اليومية يمكن أن نلاحظ أنواعاً مختلفة من الظواهر الموجية فهناك موجات تحتاج إلى وجود وسط مادي لانتشارها و هذا الوسط المادي إما أن يكون غازيا أو سائلا أو صلبا ومثال على ذلك انتشار الموجات الصوتية في الأوساط المادية المختلفة التي هي موجات ميكانيكية طولية ناتجة عن اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها.

وهنالك موجات لا يشترط وجود وسط مادي لانتشارها. هذه الموجات هي الموجات الكهرومغناطيسية وقد سبق أن درست الطيف الكهرومغناطيسي الذي يتكون من مدى واسع من الترددات التي تختلف عن بعضها بعضا تبعا لطريقة توليدها ومصدرها وتقنية كشفها واختراقها للأوساط المختلفة والشكل (1) يوضح أنواع من هذه الموجات.



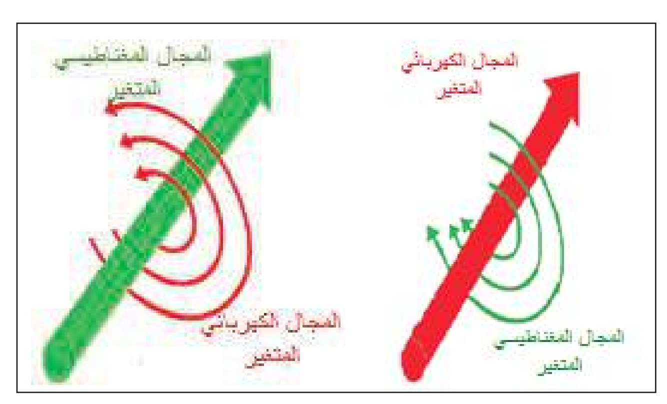
شكل (1) الطيف الكهرومغناطيسي (للاطلاع)

2-4 ماكسويل والنظرية الكهرومغناطيسية

من الانجازات المهمة في الفيزياء في القرن التاسع عشر هو اكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن الدراسات التي قام بها الكثير من العلماء أمثال فراداي وأمبير وكاوس والتي سبق أن تعرفت عليها في دراستك السابقة، إذ وجد بالتجربة أن المجال المغناطيسي المتغير الذي يخترق موصل يولد قوة دافعة كهربائية محتثة (induced emf) على طرفي ذلك الموصل وهذا ما يسمى بالحث الكهرومغناطيسي، ويتولد مجال كهربائي متغير في الفضاء يولد مجالا مغناطيسيا متغيرا عموديا عليه ومتفقا معه في الطور والعكس صحيح.. لاحظ الشكل (2).

واستنادا إلى هذه الحقائق تمكن عالم الفيزياء ماكسويل (Maxwell) في عام 1860 من ربط القوانين الخاصة بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية والذي عبر عنها بالحقائق الآتية:

1- الشحنة الكهربائية النقطية الساكنة في الفضاء تولد حولها مجالا كهربائيا تنبع خطوطه من أو إلى موقع تلك الشحنة.



شكل (2) يمثل الحث الكهرومغناطيسي

2- لا يتوافر قطب مغناطيسي منفرد (لذا فإن خطوط المجال المغناطيسي تكون مغلقة).

3- المجال الكهربائي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالا مغناطيسيا متغيرا مع الزمن وعموديا عليه ومتفقاً معه في الطور.

4- المجال المغناطيسي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالا كهربائيا متغيرا مع الزمن وعموديا عليه ومتفقا معه في الطور.

وقد استنتج ماكسويل أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتغيرين مع الزمن والمتلازمين يمكن أن ينتشران بشكل موجة في الفضاء تسمى بالموجة الكهرومغناطيسية (electromagnetic wave).

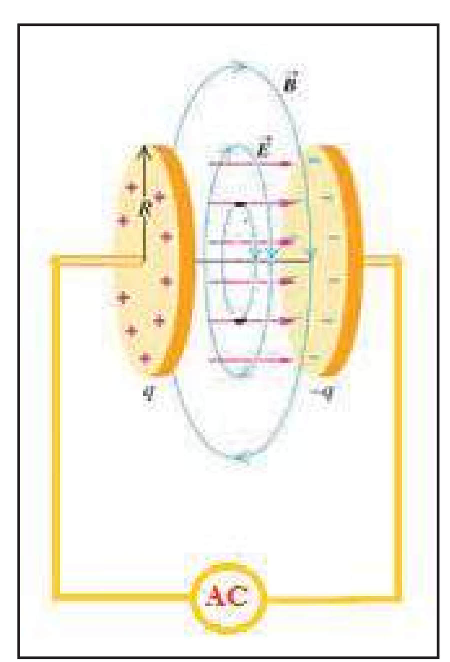
إن أصل نشوء الموجة الكهرومغناطيسية هي الشحنات الكهربائية المتذبذبة، إذ ينتج عن هذا التذبذب مجالين كهربائي ومغناطيسي متغيرين مع الزمن ومتلازمين ومتعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشارهما وتنتشر الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة الضوء ($3\times10^{8}\ m/s$).

وقد وجد ماكسويل أن المجال المغناطيسي لا ينشأ فقط عن تيار التوصيل الاعتيادي وإنما يمكن أن ينشأ من مجال كهربائي متغير مع الزمن.

فعلى سبيل المثال عند ربط صفيحتي متسعة عبر مصدر ذي فولطية متناوبة فان المجال الكهربائي (E) المتغير مع الزمن بين صفيحتيها يولد تيارا كهربائيا والذي بدوره يولد مجالا مغناطيسيا (B) متغيرا مع الزمن وعموديا عليه لاحظ الشكل (3). وقد سمي هذا التيار بتيار الإزاحة (I_d) (Displacement Current). أي إن: تيار الإزاحة (I_d) يتناسب مع المعدل الزمني للتغير في المجال الكهربائي ($\frac{\Delta E}{\Delta t}$).

ومنها:

$$I_d \alpha \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

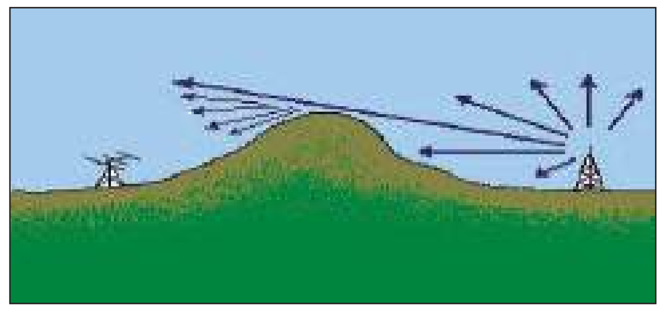


شكل (3)
يوضح كيفية توليد المجال المغناطيسي من مجال كهربائي متغير مع الزمن

ومن الجدير بالذكر أن تيار الإزاحة يرافق الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة في الفضاء بخلاف تيار التوصيل الذي ينتقل خلال الموصل فقط.

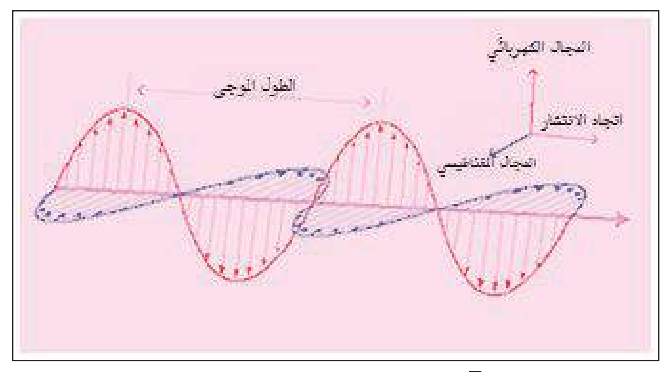
ومن أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية:

1- تنتشر في الفراغ بخطوط مستقيمة وتنعكس وتنكسر وتتداخل وتستقطب وتحيد عن مسارها لاحظ الشكل (4).



شكل (4) حيود الاشعة الكهرومغناطيسية

2- تتألف من مجالين كهربائي ومغناطيسي متلازمين ومتغيرين مع الزمن وبمستويين متعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشار الموجة ويتذبذبان بالطور نفسه لاحظ الشكل (5).



شكل (5) يمثل توزيع المجال الكهربائي والمغناطيسي في الموجة الكهرمغناطيسية

3- هي موجات مستعرضة لان المجالين الكهربائي والمغناطيسي يتذبذبان عمودياً على خط انتشار الموجة الكهرومغناطيسية، لاحظ الشكل (5).

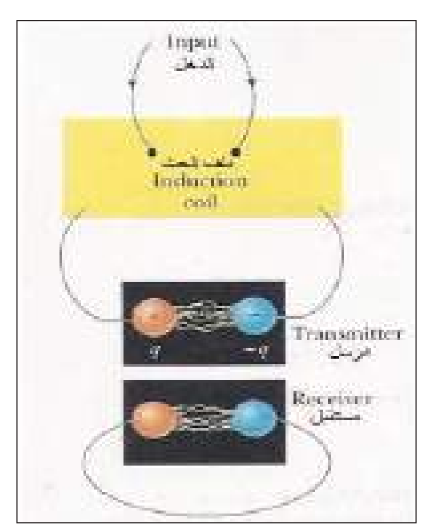
4- تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء و عند انتقالها في وسط مادي تقل سرعتها تبعاً للخصائص الفيزيائية لذلك الوسط.

وتتولد نتيجة تذبذب الشحنات الكهربائية ، ويمكن توليد بعضاً منها بوساطة مولد الذبذبات (oscillator).

5- تتوزع طاقة الموجة الكهرومغناطيسية بالتساوي بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي عند انتشارها في الفراغ.

3-4 توليد الموجات الكهرومغناطيسية من الشحنات المعجلة

أول من تمكن من توليد الموجات الكهرومغناطيسية العالم الألماني هنرى هرتز Hertz في عام 1887 وذلك بإحداث شراره كهربائية بين قطبي الملف الثانوي لجهاز ملف الحث لاحظ الشكل (6) عند توافر انحدار جهد كاف بينهما وقد نجح في استقبال هذه الموجات في فجوة بين نهايتي حلقة معدنية اذ لاحظ تولد شرارة بينهما عند وضع معين من غير وجود أسلاك توصيل بين المرسل والمستقبل وقد لاحظ هرتز أن الشرارة لا يتم استقبالها إلا إذا كانت الحلقة ذات قطر محدد وموضوعة في وضع يكون فيه الخط الفاصل بين طرفي فتحتها يوازى الخط الواصل بين القطبين الذي يولد الشرارة.

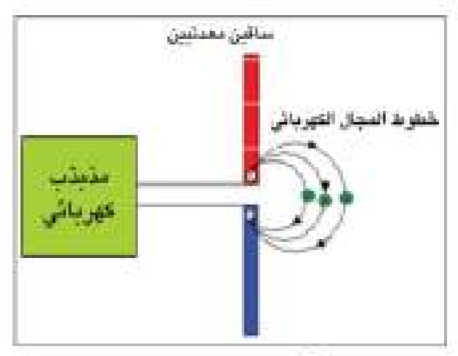


شكل (6) يمثل اجهزة هيرتز لتوليد الموجات الكهرومغناطيسية

كما علمت من دراستك السابقة أن الشحنة النقطية الساكنة تولد حولها

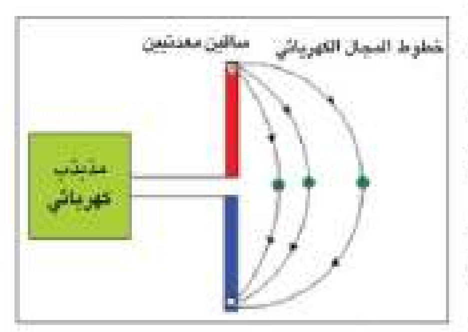
مجالاً كهربائياً فقط بينما تولد الشحنة المتحركة بسرعة ثابتة مجالين كهربائي ومغناطيسي ثابتين.أما الشحنات المعجلة فتولد مجالين كهربائي ومغناطيسي متذبذبين ينتشران في الفضاء.

ولتوضيح توليد الموجات الكهرومغناطيسية يربط ساقان معدنيان (ثنائي قطب كهربائي) إلى مصدر فولطية متناوب (متذبذب كهربائي)، وفي ما يلي شرح كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية.



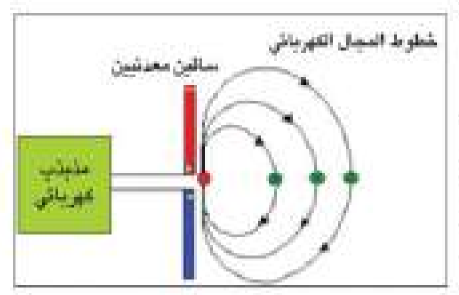
شكل (7) كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية في هوائي الارسال

1- عند ربط قطبي المتذبذب إلى طرفي الساقين المتقاربين تبدأ الشحنات الموجبة بالحركة في الساق العلوي نحو الأعلى، والسالبة في الساق السفلي نحو الأسفل لاحظ الشكل (7)، ويكون شكل خطوط القوة الكهربائية حول الساقين متجهاً من الطرف الموجب الشحنة إلى الطرف السالب الشحنة. أما خطوط القوة المغناطيسية فتكون بشكل دوائر بمستويات عمودية على خطوط المجال الكهربائي، كما بينتها علامة الاتجاه (⊕) ذات اللون الأخضر التي تشير إلى دخول الخطوط في مستوى الورقة.



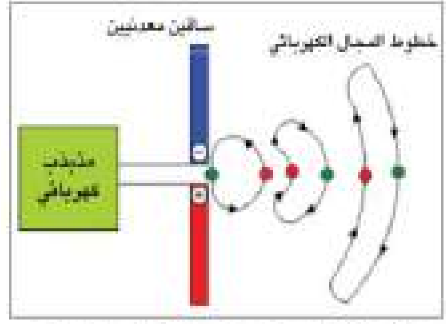
شكل (8) يوضح تباعد خطوط المجال الكهربائي عند ازدياد الفولطية على سلك هوائي الارسال

2- وفي اللحظة التي تبلغ فيها القوة الدافعة الكهربائية (emf) المؤثرة مقدارها الأعظم تصل الشحنات الى طرفي الساقين البعيدتين عندها تصبح سرعتها صفرا، لاحظ الشكل (8).



شكل (9) يوضح تقارب خطوط المجال الكهربائي عند تناقص الفولطية

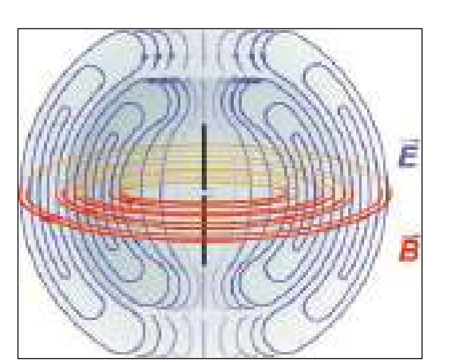
3- عندما تبدأ القوة الدافعة الكهربائية (emf) المؤثرة بالتناقص ينعكس اتجاه حركة الشحنات إذ تتحرك الشحنات الموجبة والسالبة باتجاه بعضها البعض ونتيجة لذلك تتقارب نهايتا خطوط المجالين (الكهربائي والمغناطيسي) لاحظ الشكل (9) لتكون حلقة مغلقة عند وصول الشحنة الموجبة مع الشحنة السالبة إلى نقطتي بدء حركتهما نلاحظ تلك الحلقات وانتشارهما في الفضاء مبتعدين.



شكل (10) يوضح انفصال خطوط المجال الكهربائي عن الهوائي لحظة انقلاب الفولطية

4- عندما تبدأ (emf) المؤثرة بالتنامي من جديد بالاتجاه المعاكس لحظة انقلاب الشحنتين على طرفي ثنائي القطب الكهربائي (انقلاب القطبية) فإن الشحنة السالبة تكون في الساق العلوي والشحنة الموجبة تكون في الساق السفلي تتحركان متباعدتين باتجاهين متعاكستين لاحظ الشكل (10) في هذه المرة فان المجال الكهربائي يصبح باتجاه معاكس لاتجاهه السابق وكذلك المجال المغناطيسي (مؤشر بنقطة حمراء (⊙)).

ومن هذا التتابع في التغيرات التي تطرأ على المجالين الكهربائي والمغناطيسي تتكون حلقات مغلقة لخطوط القوى الكهربائية والمغناطيسية في مستويات متعامدة تنتشر بعيدا عن ثنائي القطب الكهربائي تمثل جبهات لموجات كهرومغناطيسية لاحظ الشكل (11).

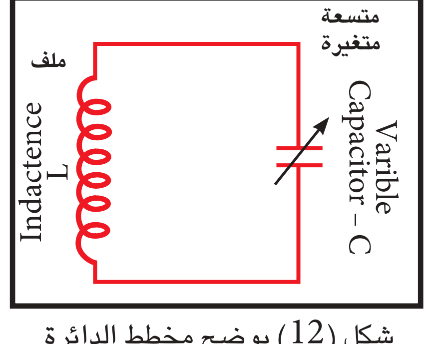


شكل (11) يوضح انبعاث الموجات الكهرومغناطيسية من هوائي الارسال بعد ان تنغلق خطوط المجال الكهربائي والمغناطيسي المرافق له

4-4 مبادئ الإرسال و التسلم للموجات الكهرومغناطيسية

هل تساءلت يوما وأنت تسمع صوت المذياع كيف يمكن لهذا الصوت أن يصل إليك عبر الفضاء ومن مسافات بعيدة جدا ؟
يتم ذلك بوساطة نقل المعلومات من الموجة السمعية (المحمولة) إلى الموجة الراديوية (الحاملة) (كما سنأتي على ذكر ذلك لاحقا) وبعدها تبث هذه الموجات عن طريق محطة الإرسال واستقبالها عن طريق جهاز الاستقبال (المذياع). إن عملية الإرسال والتسلم تعتمد على جهازين أساسيين هما:

1- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي   2- الهوائي



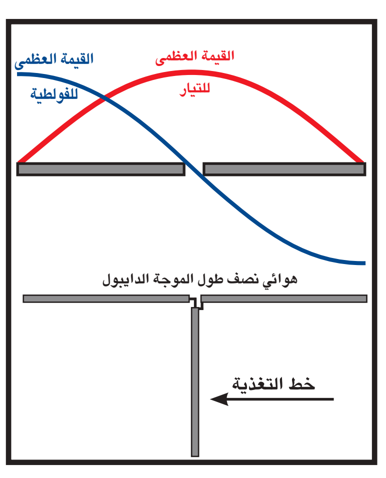
شكل (12) يوضح مخطط الدائرة المهتزة

1- الدائرة المهتزة (دائرة الرنين):

تتألف الدائرة المهتزة من ملف (L) (مهمل المقاومة الاومية) يتصل مع متسعة متغيرة السعة (C) كما موضح بالشكل (12).
ويمكن لهذه الدائرة أن تولد تردداً رنينياً f_r (Resonance Frequency) من خلال عملية التوليف على وفق العلاقة الآتية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

2- الهوائي:



شكل (13) يوضح كيفية توزيع الفولطية والتيار على طول سلكي الهوائي

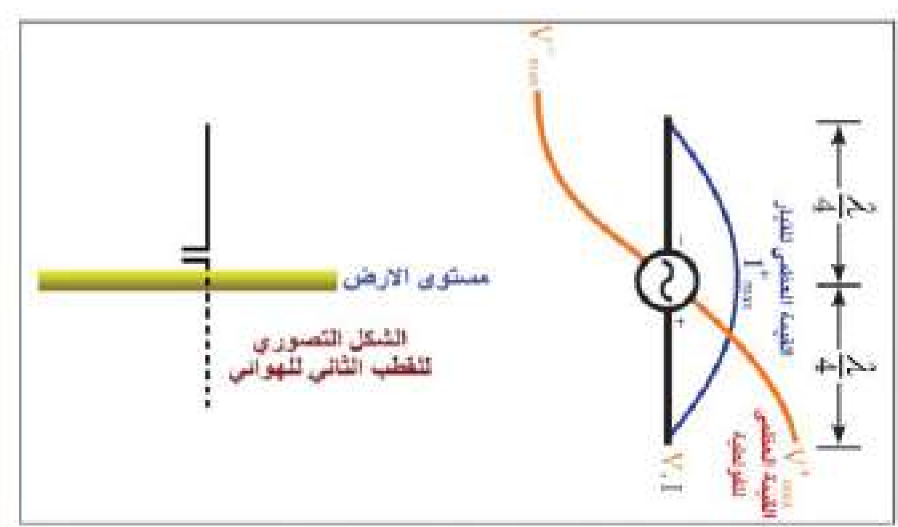
يتكون الهوائي من سلكين معدنيين منفصلين يربطان إلى مصدر فولطية متناوبة يشحن السلكان بشحنتين متساويتين بالمقدار ومختلفتين بالنوع، لاحظ الشكل (13) وتتبدد الطاقة المنبعثة من هوائي الإرسال في الفضاء بشكل موجات كهرومغناطيسية وتعتمد قدرة الهوائي في الإرسال أو التسلم إلى:

(1) مقدار الفولطية المجهزة للهوائي.
(2) تردد الإشارة المرسلة أو المستلمة.

وقد وجد عمليا أن طول الهوائي عندما يساوي نصف طول الموجة المرسلة أو المستلمة يحقق إرسالاً أو استقبالاً اكبر طاقة للإشارة. وللتوضيح

سنستعين بالشكل (13). فرق الطور بين التيار المتولد والقوة الدافعة الكهربائية يساوي (90^0) كما تلاحظ في الشكل تكون الفولطية في قيمتها العظمى (V_{max}) عند نهايتي الهوائي ويكون التيار في قيمته العظمى (I_{max})عند منتصف الهوائي (نقطة تغذية قطبي الهوائي بتيار الإشارة المراد إرسالها) عندها تكون الممانعة قليلة في هذه النقطة في حين تكون الممانعة عالية عند نهايتي الهوائي لذا يمكن تغذية الهوائي بأعظم قدرة من الدائرة المهتزة مقارنة مع أي طول أخر.

ويمكن تأريض احد أقطاب الهوائي كما تلاحظ في الشكل (14) ليكون هوائي إرسال أو استقبال بطول ربع موجة، اذ تعمل الأرض على تكوين صورة لجهد القطب بالطول نفسه وبذلك يتكون قطب أخر في الأرض بطول ربع موجة لتكتمل خواص هوائي نصف الموجة. ويسمى مثل هذا الهوائي بهوائي ربع الموجة.



شكل (14) يوضح الهوائي المؤرض وكيفية توزيع الفولطية والتيار على طول سلك الهوائي والارض

هل تعلم

عادة عندما تلمس هوائي الراديو تزداد شدة المستقبل تحسنا وذلك لان الهوائي يصبح ربع طول موجة زيادة على ذلك فان سعة المتسعة تقل فيزداد عامل الجودة ويصير الانتقاء حاد وجيد.

مثال (1)

ضبطت دائرة موالفة في جهاز راديو محطة إذاعية بحيث كانت قيمة المحاثة في الدائرة 6.4 μH وقيمة السعة 1.9 pF

(a) ما تردد الموجات التي يلتقطها الجهاز؟ (b) وما طولها ألموجي؟

الحل

a- تحسب قيمة التردد من العلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6.4\times10^{-6}\times1.9\times10^{-12}}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\times3.14\sqrt{12.16\times10^{-18}}}$$

$$f_r = 45.665\times10^6\ \text{Hz}$$

b- الطول الموجي يحسب من العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{c}{f_r}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^8}{45.665\times10^6} = \frac{300}{45.665} = 6.57\text{m}$$

مثال (2)

يراد استعمال هوائي نصف موجة لإرسال إشارات لاسلكية للترددات الآتية:
(20KHz، 200MHz) . احسب طول الهوائي لكل من هذين الترددين وبين أي من هذه الهوائيات مناسب للاستعمال العملي.

هل تعلم

أن هوائي الاستقبال لمحطات تسلم القنوات التلفازية الفضائية موجود ضمن وعاء معدني، (LNB) ويكون بشكل سلك معدني صغير مؤرض بهذا الوعاء.

الحل

حساب طول الهوائي للتردد (20kHz)

نحسب أولا الطول ألموجي (λ) من خلال استعمال العلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^3}$$

$$\lambda = \frac{3}{20} \times 10^5 \, m = 15km$$

طول هوائي ℓ نصف الموجة $(\frac{\lambda}{2})$ يساوي:

$$\ell = \frac{\lambda}{2} = 7.5 \, km$$

ومن الجدير بالذكر أن طول هذا الهوائي لا يمكن استعماله من الناحية العملية ولغرض إرسال مثل هذا التردد نقوم بتحميله على موجة حاملة عالية التردد بعملية تسمى التضمين (سيأتي شرحها لاحقا).

حساب طول الهوائي للتردد 200MHz

نحسب أولا الطول الموجي

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{200 \times 10^6} = \frac{3}{2} = 1.5m = 150 \, cm$$

طول الهوائي المستعمل لنصف طول موجة يكون مناسباً من الناحية العملية

$$\ell = \frac{\lambda}{2} = 75cm$$

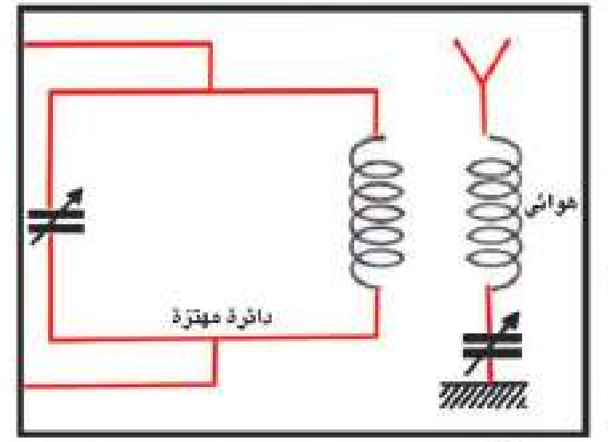
وعند تأريض هذا الهوائي يصبح هوائياً بطول ربع طول الموجة وعندئذ يحسب طوله كالاتي:

$$\ell = \frac{\lambda}{4} = \frac{150}{4} = 37.5cm$$

يكون هذا الطول مناسبا أكثر للاستعمالات العملية.

5-4 كيفية عمل دوائر الإرسال والتسلم

1-5-4 دائرة الإرسال:



شكل (15) جهاز ارسال الموجات الكهرومغناطيسية

يبين الشكل (15) الأجزاء الأساسية لجهاز الإرسال والذي يتكون من:

a- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي: وتحوي ملفاً ومتسعة متغيرة السعة.

b- هوائي: ويحوي ملفاً يوضع مقابلاً لملف لدائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي ومتسعةً متغيرة السعة متصلاً بسلك معدني حر أو موصلاً بالأرض.

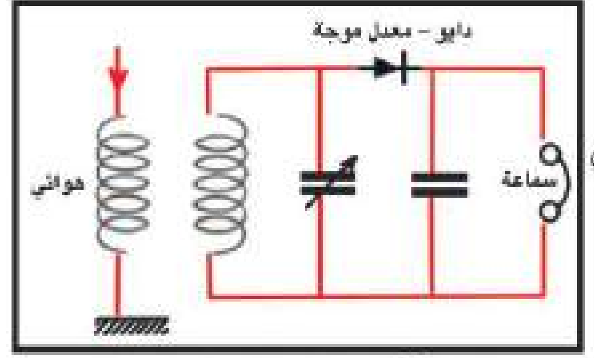
طريقة عملها:

1) عندما تغذى الدائرة المهتزة بالطاقة تبدأ في العمل وتولد موجات الإشارة الكهربائية ويمكن التحكم في ترددها عن طريق تغيير سعة المتسعة في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي (أو معامل الحث الذاتي للملف).

2) تتسبب موجات الإشارة الكهربائية التي تبثها دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي في توليد تيار محتث متناوب في ملف الهوائي اذ يكون تردد هذا التيار مساوياً لتردد موجات الإشارة الكهربائية التي تولدها الدائرة المهتزة.

3) ينتج التيار المحتث المتولد في ملف الهوائي قوة دافعة كهربائية في سلك الهوائي ترددها يساوي تردد التيار المحتث في الملف تولد الموجات الكهرومغناطيسية التي يبثها سلك الهوائي إلى الفضاء.

2-5-4 دائرة التسلم:



شكل (16) مخطط جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية

يبين الشكل (16) الأجزاء الأساسية لجهاز التسلم والذي يتكون من:

a) دائرة مهتزة: تتكون من ملف، متسعة متغيرة السعة.

b) هوائي: يحتوي سلك معدني مرتبط بملف.

طريقة عملها:

1- يستقبل الهوائي الموجات الكهرومغناطيسية من الفضاء اذ تولد فيه تياراً متناوباً تردده يساوي تردد تلك الموجات.

2- يولد التيار المحتث المتناوب المار في ملف الهوائي إشارة كهربائية ترددها يساوي تردد التيار المحتث، والتي عمل الهوائي على تسلمها.

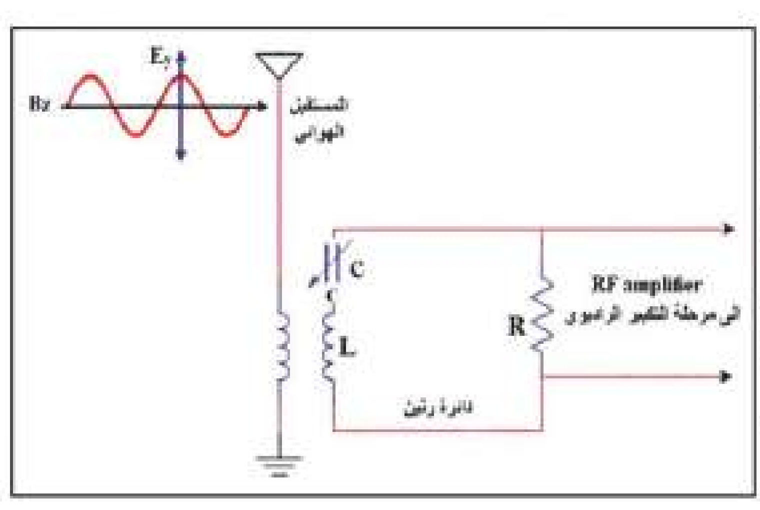
3- نغير سعة المتسعة في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي إلى أن تصل إلى حالة الرنين، وعندها يتولد في ملف دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي تيار محتث متناوب يساوي تردده تردد التيار المار في الهوائي.

يمكن الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية إما بوساطة مجالها الكهربائي أو مجالها المغناطيسي

4-6-1 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها الكهربائي:

نربط الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (17).

إذ يعمل المجال الكهربائي للموجة E_y على جعل الشحنات تهتز في الهوائي عندما يكون تذبذب E_y موجبا، فأن قمة الهوائي تكون موجبة ثم تنعكس قطبية الهوائي في اللحظة التالية مباشرة، عندما يتكرر انعكاس متجه المجال الكهربائي في الموجة يجعل الشحنة تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل الهوائي بشكل يعتمد على الزمن، وخلال هذه العملية يحث التيار المتغير جهدا مهتزا في الدائرة الرنينية المرتبطة بالهوائي بوساطة الحث المتبادل وعند تغير مقدار السعة للحصول على حالة الرنين بين تردد الموجة و تردد الدائرة الرنينية سنحصل على إشارة الموجة الكهرومغناطيسية المستلمة.



شكل (17) مخطط جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها الكهربائي

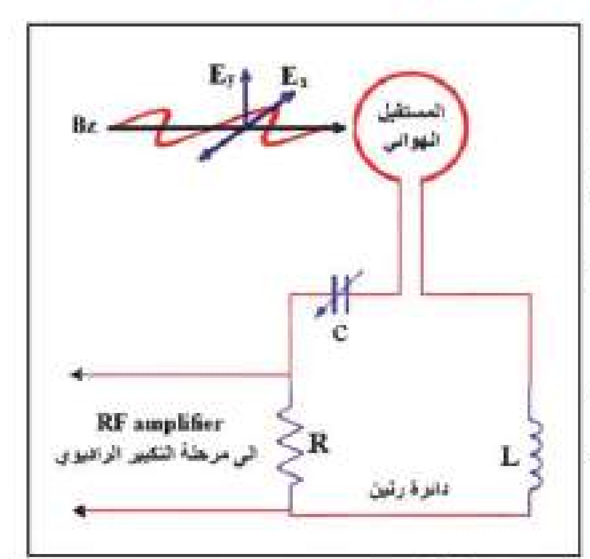
4-6-2 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها المغناطيسي:

نربط الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (18).

يتكون الهوائي في هذه الدائرة من سلك موصل بشكل حلقة، ولكون المجال المغناطيسي للموجة الكهرومغناطيسية متغيراً مع الزمن فتتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (induced emf) في حلقة الهوائي.

يتطلب ان يكون مستوى حلقة الهوائي بوضع عمودي على اتجاه الفيض المغناطيسي (لهذا السبب نجد أن أجهزة الراديو الصغيرة يختلف استقبالها لمحطات الإذاعة تبعا لاتجاهها).

ويمكن التوليف مع الإشارة المستلمة في الهوائي عن طريق دائرة الرنين بوساطة تغيير سعة المتسعة الموجودة في الدائرة.



شكل (18) مخطط يمثل جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها المغناطيسي

7-4 التضمين Modulation

عملية التضمين تعني تحميل إشارة المعلومات (صوت أو صورة أو مكالمة هاتفية مثلاً) ذات التردد الواطئ (تسمى موجة محمولة) على موجة عالية التردد (تسمى موجة حاملة).

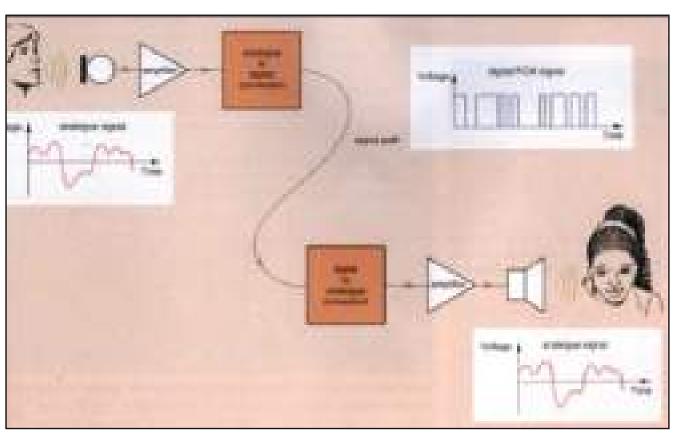
وفي حالة البث الإذاعي مثلا تحّول موجات الصوت المسموع إلى إشارات كهربائية بوساطة اللاقطة الصوتية (تسمى الموجات السمعية) وبالتردد نفسه، ثم ترسل هذه الإشارات الكهربائية إلى الدائرة الرنينية المهتزة لتقوم بعملية تحميلها على الموجات الراديوية (الحاملة) والتي يكون ترددها أعلى من تردد الإشارة السمعية ومن ثم ترسل إلى هوائي الإرسال ليقوم بعملية تحويلها إلى موجات كهرومغناطيسية لتبث بكفاءة وتقطع مسافات طويلة من غير اضمحلال محسوس.

ان التضمين التماثلي (Analog Modulation) يُعَّدْ تغيير لأحد خواص موجة التيار عالي التردد (سعة التذبذب – تردد التذبذب – طور التذبذب).

لذا توجد ثلاثة أنواع من التضمين التماثلي هي:

1) التضمين السعوي AM
2) التضمين الترددي FM
3) التضمين الطوري PM

وهناك نوع أخر من التضمين من الممكن إجراؤه على الموجة المضمنة وذلك لغرض التقليل من التأثيرات الخارجية عليها زيادة على إمكانية تشفيرها ويطلق على هذا النوع من التضمين بالتضمين الرقمي (Digital modulation)، لاحظ الشكل (19)، الذي يوضح عملية نقل المكالمة الهاتفية بطريقة تحويل التضمين التماثلي الى تضمين رقمي عند الارسال وعكس ذلك عند التسلم.



شكل (19) يوضح عملية نقل المكالمات الهاتفية بعد التضمين الرقمي (للاطلاع)

1-7-4 التضمين السعوي (Amplitude Modulation) (AM):

الشكل (20) يوضح كيفية تضمين موجة معلومات منخفضة التردد على موجة حاملة عالية التردد ونحصل على موجة تظهر المعلومات بشكل تغيرات في السعة مع ثبوت ترددها، وعلى هذا الأساس فان التضمين السعوي هو تغيير في سعة الموجة الحاملة كدالة خطية مع سعة الموجة المحمولة على وفق تردد الاشارة المحمولة.



شكل (20) التضمين السعوي

2-7-4 التضمين الترددي (FM) (Frequency Modulation):

الشكل (21) يوضح التضمين الترددي إذ إن السعة للموجة المحمولة تقلل من تردد الموجة الحاملة والعكس صحيح. وتلاحظ في الجهة اليمنى عدم تغير سعة الموجة الحاملة فالتضمين الترددي هو تغيير تردد الموجة الحاملة كدالة خطية مع تردد الموجة المحمولة على وفق سعة الموجة المحمولة.



شكل (21) التضمين الترددي

3-7-4 التضمين الطوري (PM) (Phase Modulation):

شكل (22) يوضح تضمين الطور والذي يظهر التغير في سعة موجة المعلومات على شكل تغيرات في طور الموجة الحاملة ، فالتضمين الطوري هو تغيير في طور الموجة الحاملة كدالة خطية مع سعة الموجة المحمولة على وفق تردد الاشارة المحمولة.



شكل (22) التضمين الطوري

8-4 مدى الموجات الراديوية

نظرا للتباين الكبير في خصائص الموجات الكهرومغناطيسية الراديوية من حيث طرائق توليدها وانتشارها فقد قسمت على مناطق عدة منها:

a– منطقة الترددات المنخفضة جدا (VLF) (3kHz – 30kHz) ومجال الترددات المنخفضة LF (30kHz – 300kHz) وتستثمر غالباً في الملاحة البحرية.

b– منطقة الترددات المتوسطة (3MHz–300kHz) (MF) وتستثمر غالبا في البث الإذاعي المعتاد.

c– منطقة الترددات العالية (3MHz– 30MHz) (HF) وتستثمر في بعض الهواتف، والاتصال بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

d– منطقة الترددات العالية جدا (30MHz –300 MHz) (VHF) وتستثمر في بعض أجهزة التلفاز والإرسال الإذاعي، وأنظمة التحكم بالحركة الجوية، وأنظمة اتصالات الشرطة، وغيرها.

تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الأوساط المختلفة بسرعة (V) تحددها مقادير كل من السماحية الكهربائية (ε) permittivity والنفاذية المغناطيسية (μ) permeability للوسط الذي تنتشر خلاله على وفق المعادلة:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\in\mu}}$$

إذ إن قيم هذه الثوابت في الفراغ تساوي:

$$\in_o = 8.854\times10^{-12}\,\frac{F}{m} \qquad \mu_o = 4\pi\times10^{-7}\,\frac{H}{m}$$

ومن قيم هذه الثوابت يمكن حساب سرعة الضوء في الفراغ(c):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{12.5663\times10^{-7}\times8.854\times10^{-12}}} = 2.997964\times10^{8}\,{}^{m}/_{s}$$

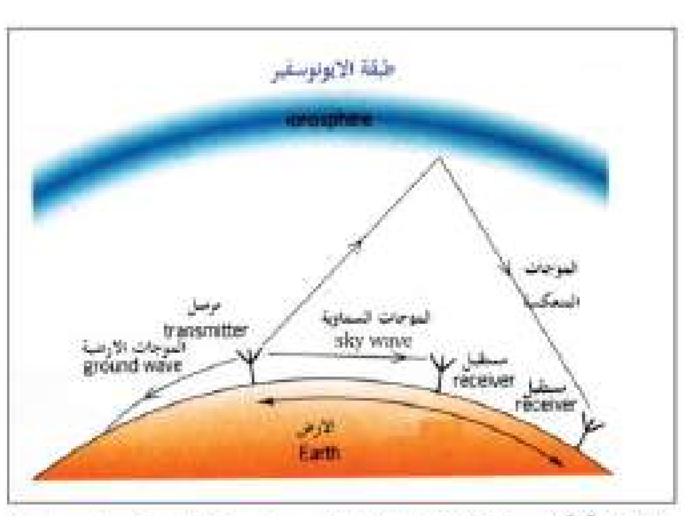
وعادة يقرب هذا الرقم إلى $3\times10^{8}\,\frac{m}{s}$

تنتشر الموجات الراديوية في الجو بطرائق عدة منها:

1-9-4 الموجات الارضية (Ground Waves):

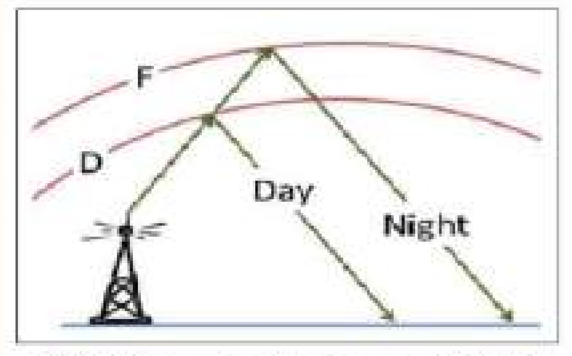
وتشمل الموجات التي مدى تردداتها بين (530 kHz- 2 MHz).

وتنتقل قريبة من سطح الأرض. تتخذ الموجات الأرضية عند انتشارها مسارا قريبا جدا من سطح الأرض وينحني مسار انتشارها مع انحناء سطح الأرض. لاحظ الشكل (23). ولقد استفيد من هذه الظاهرة لبناء أنظمة اتصالات محدودة المسافة وذلك لمحدودية قدرة بث ارسال هذه الموجات.



شكل (23) يبين كيفية انتشار الموجات الارضية والسماوية

4-9-2 الموجات السماوية Sky Waves:



شكل (24) يوضح طبقتي الايونوسفير (F-layer) في اثناء الليل وطبقة (D-layer) في اثناء النهار

تشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تقع بين MHz (2-30) ويعتمد هذا النوع من الاتصالات على وجود طبقات الايونوسفير (Ionosphere layers) وهي طبقات عالية التأين إذ تعكس الموجات السماوية الى الارض، لاحظ الشكل (24).

وتكون طبقات الايونوسفير عالية التأين عند منتصف النهار وقليلة التأين في أثناء الليل، إذ تختفي الطبقة المتأينة القريبة من الأرض في أثناء الليل والتي تسمى (D-layer)وتبقى طبقة (F-layer) لاحظ الشكل (24). وتعمل هذه الطبقات على عكس بعض أنواع الموجات الراديوية الموجهة إليها من محطات البث الأرضية إلى الأرض، ولهذا السبب يكون تسلم هذه الموجات في اثناء النهار لمدى أقل مما هو عليه في اثناء الليل نتيجة انعكاس الموجات الراديوية من المنطقة السفلى (D-layer) وفي أثناء الليل يكون الاستلام واضحا لانعكاس الموجات من الطبقة العليا (F-layer).

4-9-3 الموجات الفضائية Space Waves:

وتشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تزيد عن (30 MHz) أي نطاق الترددات العالية جدا (VHF Very high frequency) وهي موجات دقيقة (Microwaves) تنتشر في خطوط مستقيمة ولا تنعكس عن طبقة الايونوسفير بل تنفذ من خلالها. ويمكن استثمار هذه الموجات في عملية الاتصال بين القارات وذلك باستعمال أقمار صناعية في مدار متزامن مع دوران الأرض حول محورها (يطلق عليها توابع satellite) لتعمل كمعيدات (repeaters) (محطات لتقوية الإشارة وإعادة إرسالها) والشكل (25) يبين كيفية قيام الأقمار الصناعية بعملية الاتصال إذ تقوم هذه الأقمار باستقبال الإشارات الضعيفة من محطات أرضية ثم تعيد بثها مرة أخرى إلى الأرض لتستلمها محطات أرضية أخرى على بعد آلاف الكيلومترات.



شكل (25) يوضح عمل الاقمار الصناعية في الاتصال

1-10-4 الرادار:

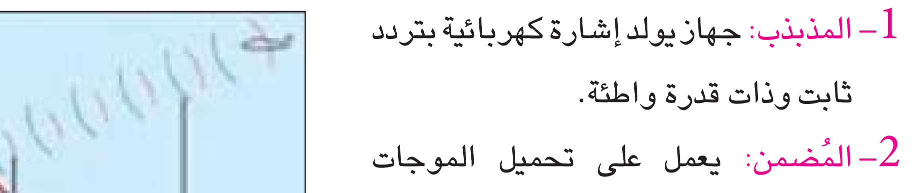

شكل (26)

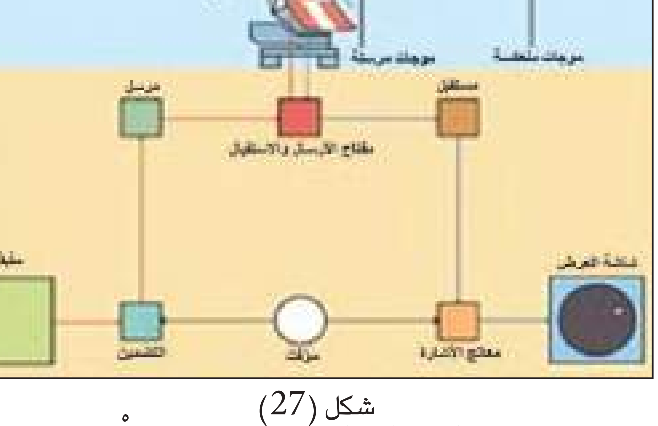
كلمة رادار (RADAR) هي اختصار للأحرف الأولى للجملة الآتية Radio Detection And Ranging وتعني الكشف وتحديد البعد بوساطة الموجات الراديوية.

الرَّادار نظام إلكتروني يستعمل لكشف أهداف مُتحرِّكة أو ثابتة وتحديد مواقعها. ويعمل جهاز الرادار بوساطة إرسال موجات راديوية باتجاه الهدف، واستقبال الموجات التي تنعكس عنه. ويَدُلُّ الزمن الذي تستغرقه الموجات في ذهابها وإيابها بعد انعكاسها على مَدَى (range) الهدف وكم يبعد، فضلاً عن ان الاتجاه الذي تعود منه الموجات المنعكسة يدل على موقع الهدف.

المكونات الرئيسة للرادار:

وعلى الرغم من اختلاف المجموعات الرَّادارية في الحجم فهي متشابهة في ادائها، والشكل (27) يوضح المكونات الرئيسة للرادار:





شكل (27)

1- المذبذب: جهاز يولد إشارة كهربائية بتردد ثابت وذات قدرة واطئة.

2- المُضمن: يعمل على تحميل الموجات السمعية على الموجات الراديوية.

3- المُرسل: يعمل على تقليل زمن النبضة الواصلة اليه من المضمن فيرسلها بنبضة ذات قدرة عالية الى الهوائي.

4- مفتاح الإرسال والاستقبال: مفتاح يعمل على فتح او اغلاق دائرة الارسال والاستقبال.

5- الهوائي: يقوم بارسال الموجات الرادارية (الموجات الدقيقة او الموجات الراديوية) بشكل حزْم ضيقة موجهة الى الهدف وتسلمها بعد انعكاسها عن الهدف

6- المُوقِّت: يتحكم زمنياً بعمل الاجزاء الرئيسة للرادار.

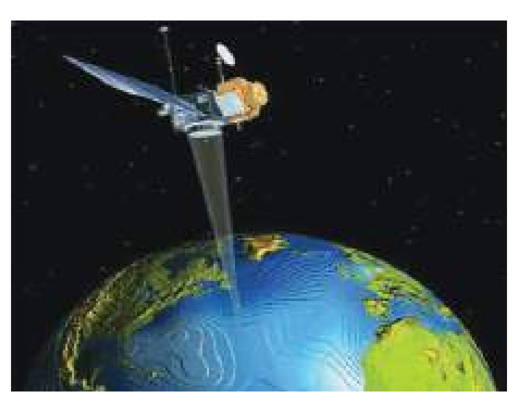
7- المُستقبل: يتسلم الموجات المنعكسة المتجمعة بوساطة الهوائيّ ويقوم بتكبيرها وعرضها على معالج الاشارة.

8- معالج الإشارة: يعمل على انتقاء الاشارات المنعكسة عن الأهداف الصغيرة المتحركة، ويحجب الاشارات المنعكسة عن الاهداف الكبيرة والثابتة.

9- الشاشة: تعمل على اظهار الموجات المنعكسة عن الهدف على هيئة نقاط مضيئة.

2-10-4 التحسس النائي (الاستشعار عن بعد) Remote Sensing:

هو احد مجالات العلوم التي تمدنا بالمعلومات عن سطح الأرض من غير أي احتكاك أو اتصال مباشر بسطحها. كالحصول على صورة من طائرة أو قمر صناعي، و يتم ذلك باستثمار الموجات الكهرومغناطيسية الضوئية إلى نهاية الترددات الراديوية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام الأرضية أو من الجو أو مياه البحار، والتي يمكن لأجهزة الاستشعار عن بعد الموجودة في الأقمار الصناعية أو الطائرات أو البالونات أن تتحسسها لاحظ الشكل (28) وتقوم بعملية تصويرها وتحليل بياناتها لتكون جاهزة للاستعمال في فروع المعرفة مثل الجيولوجيا والهندسة المدنية والأرصاد الجوية و الزراعة وفي التطبيقات العسكرية وغيرها.

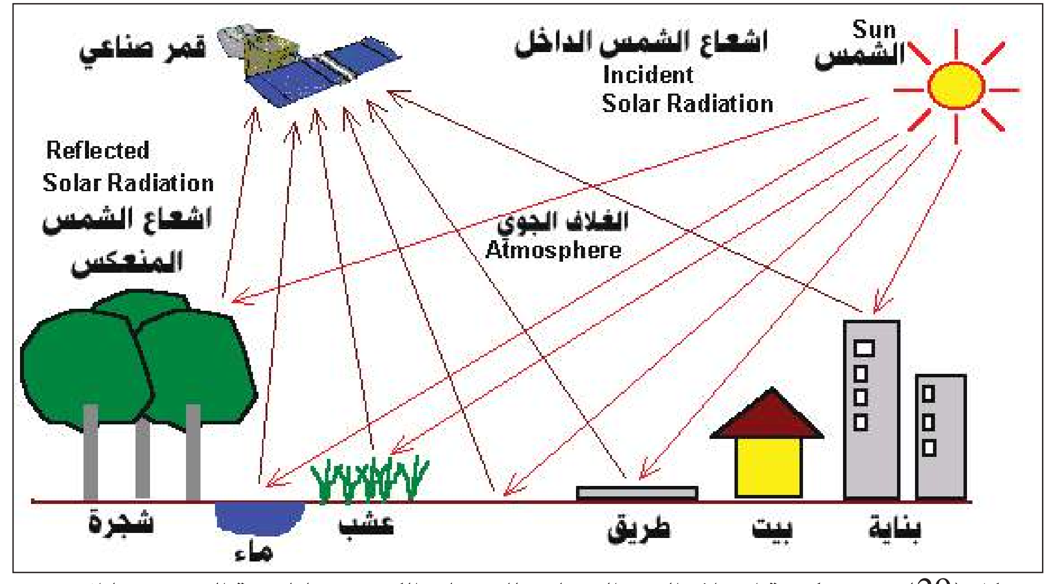


شكل (28)

هناك نوعان من التحسس النائي:

1- **التحسس النائي بحسب مصدر الطاقة**، إذ يستعمل نوعان من الصور هما:

a- صور نشطة (active images): وهي التي يُعتمد فيها على مصدر طاقة مثبت على القمر نفسه ليقوم بعملية إضاءة الهدف وتسلم الأشعة المنعكسة عنه لاحظ الشكل (29).



شكل (29) يوضح كيفية استلام القمر الصناعي للموجات الكهرومغناطيسية التي تشعها الارض

b- صور غير نشطة (passive images): و هي التي تعتمد على مصدر الإشعاع المنبعث من الهدف نفسه.

2 – **التحسس النائي بحسب الطول ألموجي:** يمكن تقسيم صور الهدف المتسلمة طبقاً للطول الموجي على ثلاثة أقسام هي:

a- صور الأشعة المرئية.

b- صور الأشعة تحت الحمراء.

c- صور الأشعة المايكروية.

مجالات استعمال التحسس النائي:

توجد مجالات عدة تستثمر فيها هذه التقنية ومنها:

1- اكتشاف الخامات المعدنية والبترولية.

2- مراقبة حركة الأنهار وجفاف الأراضي والبحيرات والتعامل مع السيول والفيضانات المتوقعة بمقارنة صور مأخوذة على فترات زمنية مختلفة.

3- دراسة المشاريع الإنشائية والتخطيط العمراني للمدن والقرى والمنشآت الكبيرة.

4- دراسة النباتات الطبيعية ودراسة التوزيع النوعي للأراضي والتربة.

5- تستثمر هذه التقنية في التطبيقات العسكرية. فمثلاً بعض الأقمار الصناعية العسكرية مزودة بمتحسسات تعمل بالأشعة تحت الحمراء يمكنها التحسس بالحرارة المنبعثة من الشاحنات والطائرات والصواريخ والسيارات والاشخاص ورصد اية حركة على سطح الأرض، يمكن للمتحسسات ان تعمل في شتى الظروف الجوية.

6- تستثمر في تصوير النجوم والكواكب المطلوب دراستها باستعمال كاميرات رقمية مثبتة على اقمار صناعية خاصة بالبحث العلمي في مجال الفضاء والفلك.

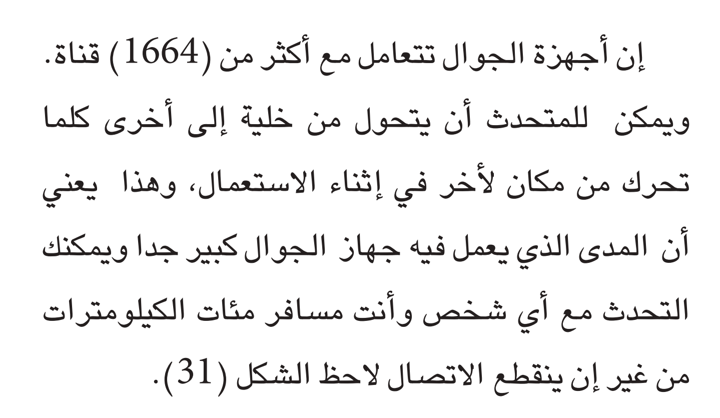
3-10-4 الهاتف الجوال (النقال) (Mobile):

من المعروف انه قبل اختراع الهاتف الجوال كانت من بعض الاحتياجات للاتصال تتم عن طريق هواتف الراديو (radio telephones) ومن أمثلتها المعروفة هو الجهاز المستعمل من قبل أجهزة الشرطة، وفي هذا النظام توجد محطة إرسال واحدة مركزية في المدينة (هوائي) و 25 قناة اتصال فقط متاحة للاستعمال، وهذا يعني أن عدداً محدوداً من الأشخاص يمكنهم استعمال هواتف الراديو في الوقت نفسه.

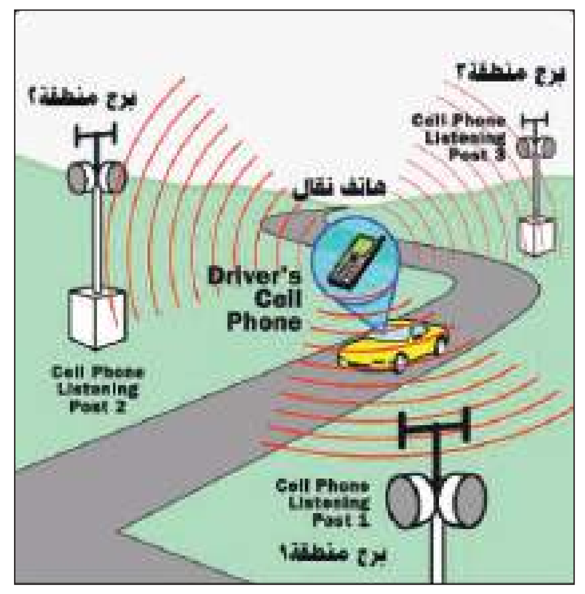
إما في نظام الهاتف الجوال فإن المدينة تقسم إلى خلايا (cells). كل خلية من الخلايا تحتوي برجاً يحمل معدات إرسال واستقبال. لاحظ الشكل (30). وبسبب أن أجهزة الجوال ومحطات الإرسال تعمل بقدرة منخفضة (0.6 - 3 watt) فإن الترددات نفسها المستعملة في خلية معينة يمكن أن تستعمل في الخلايا البعيدة مثل الخليتين المميزتين باللون الداكن الموضحتين في الشكل (30)، ومن فوائد هذه الطريقة انه يمكن إعادة استعمال التردد نفسه على أكثر من خلية ومن ثم فأن الملايين من الإفراد يمكنهم استعمال الجوال من غير تداخل احدهما مع الأخر.



شكل (30) يوضح كيفية تقسم المدينة الى خلايا ذو ابراج اتصال



إن أجهزة الجوال تتعامل مع أكثر من (1664) قناة. ويمكن للمتحدث أن يتحول من خلية إلى أخرى كلما تحرك من مكان لأخر في إثناء الاستعمال، وهذا يعني أن المدى الذي يعمل فيه جهاز الجوال كبير جدا ويمكنك التحدث مع أي شخص وأنت مسافر مئات الكيلومترات من غير إن ينقطع الاتصال لاحظ الشكل (31).



شكل (31) يوضح كيفية امكانية تحويل المتحدث المستقبل من خلية اتصال الى اخرى

أسئلة الفصل الرابع

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1) ان تيار الازاحة (I_d) يتناسب مع:

a– المعدل الزمني للتغير في المجال المغناطيسي

b– المعدل الزمني للتغير في المجال الكهربائي.

c– المعدل الزمني للتغير في تيار التوصيل.

d– المعدل الزمني للتغير في تيار الاستقطاب.

2) ان تذبذب الالكترونات الحرة في موصل تنتج موجات تسمى:

a– موجات الاشعة السينية.　　b– موجات اشعة كاما.

c– موجات الاشعة تحت الحمراء.　　d– الموجات الراديوية.

3) يتحدد مقدار سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في الاوساط المختلفة بوساطة:

a– مقدار السماحية الكهربائية لذلك الوسط فقط.

b– النفاذية المغناطيسية لذلك الوسط فقط.

c– حاصل جمع سماحية ونفاذية ذلك الوسط.

d– مقلوب الجذر التربيعي لحاصل ضرب مقدار السماحية والنفاذية لذلك الوسط.

4) الموجات الكهرومغناطيسية التي تستعمل في اجهزة الرادار هي:

a– موجات الاشعة فوق البنفسجية.　　b– موجات اشعة كاما.

c– موجات الاشعة السينية.　　d– موجات الاشعة الدقيقة (microwave)

5) تتولَّد الموجات الراديوية عند:

a– انسياب تيار مستمر في سلك موصل.　　b– حركة شحنة كهربائية بسرعة ثابتة في سلك موصل.

c– حركة شحنة كهربائية معجلة في سلك موصل.　　d– وجود شحنات كهربائية ساكنة في سلك موصل.

6) للحصول على كفاءة عالية في عمليتي الارسال والتسلم يستعمل هوائي طوله يبلغ نصف طول الموجة وذلك لان :

a– مقدار الفولطية اكبر ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

b– مقدار الفولطية اقل ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

c– مقدار الفولطية والتيار اكبر ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

d– مقدار الفولطية والتيار اقل ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

7) يمكن ان تعجل الشحنة الكهربائية في موصل عندما يؤثر فيها:

a- مجال كهربائي ثابت.

b- مجال كهربائي متذبذب.

c- مجال كهربائي ومجال مغناطيسي ثابتان.

d- مجال مغناطيسي ثابت.

8) في عملية التضمين الترددي (FM) نحصل على موجة مضمنة بسعة :

a- ثابتة وتردد ثابت.   b- متغيرة وتردد متغير.

c- ثابتة وتردد متغير.   d- متغيرة وتردد ثابت.

9) تعكس طبقة الايونوسفير في الجو الترددات الراديوية التي تكون:

a- ضمن المدى (2-30) MHz

b- ضمن المدى (30-40) MHz

c- اكثر من (40) MHz

d- جميع الترددات الراديوية.

10) ان عملية الارسال والتسلم للموجات الكهرومغناطيسية تعتمد على:

a- قطر سلك الهوائي.

b- كثافة سلك الهوائي.

c- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي والهوائي.

d- كل الاحتمالات السابقة.

11) في حال البث الاذاعي تقوم اللاقطة الصوتية:

a- بتحويل موجات الصوت المسموع الى موجات سمعية بالتردد نفسه.

b- بعملية التضمين الترددي.

c- بعملية التضمين السعوي.

d- بفصل الترددات السمعية عن الترددات الراديوية .

12) صور التحسس النائي التي يعتمد فيها على مصدر الطاقة من القمر نفسه تسمى:

a- صور غير نشطة.

b- صور نشطة.

c- صور الاشعاع المنبعث من الهدف نفسه.

س2 هل كل الأسلاك الموصلة التي تحمل تياراً تشع موجات كهرومغناطيسية ؟ اشرح ذلك

س3 عندما تنتشر الأشعة الكهرومغناطيسية في الفضاء أو الأوساط المختلفة. ماذا يتذبذب؟

س4 ما العوامل التي تحدد سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الاوساط المختلفة ؟

س5 يكون تسلم الموجات الراديوية في اثناء النهار لمدى اقل مما هو عليه في اثناء الليل وضح ذلك ؟

س6 ما الفرق بين الصور النشطة وغير النشطة ؟

س7 ما المقصود بالمصطلحات الآتية : الموجة الحاملة، الموجة المحمولة، الموجة المضمنة؟

س8 نشاهد من حين لآخر في دور السينما أو على التلفاز رجال الشرطة وهم يحاولون تحديد موقع محطة إرسال لاسلكي سرية وذلك بقيادة سيارة في المناطق المجاورة ومثبت بالسيارة جهاز يتصل به ملف يدور ببطء من فوق ظهر السيارة اشرح طريقة عمل الجهاز.

مسائل الفصل الرابع

س1 يستعمل جهاز راديو لالتقاط محطة إذاعية تعمل عند تردد مقدار 840 kHz فإذا كانت دائرة الرنين تحتوي على محث مقداره 0.04 mH ، فما هي سعة المتسعة الواجب توافرها لالتقاط هذه المحطة؟

س2 ما مدى الأطوال الموجية الذي تغطيه محطة إرسال AM إذاعية تردداتها في المدى من 540kHz إلى 1600 kHz ؟

س3 ما هو أقل طول لهوائي السيارة اللازم لاستقبال إشارة ترددها 100 MHz؟

س4 ما الطول ألموجي لموجات كهرومغناطيسية يشعها مصدر تردده 50 Hz ؟

س5 ما تردد الموجات الكهرومغناطيسية التي أطوال موجاتها: (a) 1.2m ، (b) 12m و (c) 120m؟

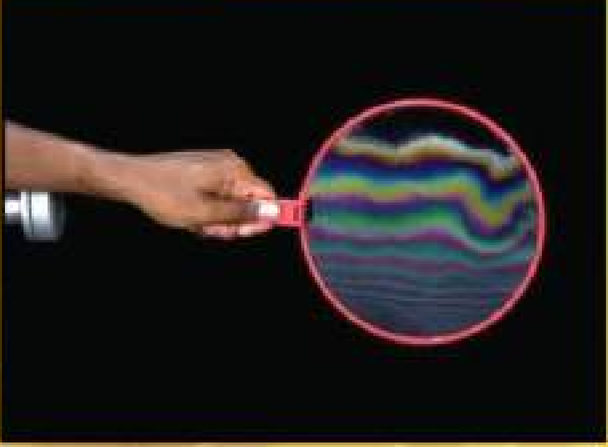
س6 وقع انفجار على بعد 4 Km من راصد. ما هي المدة الزمنية بين رؤية الراصد الانفجار و سماعه صوته؟

(اعتبر سرعة الصوت 340m / s).

الفصل الخامس 5

البصريات الفيزيائية
Physical optics







مفردات الفصل

الاهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يعرف مفهوم التداخل في الضوء.
- يذكر شروط التداخل.
- يجري تجربة لتكون هدب التداخل في الضوء.
- يتعرف بعض الظواهر التي تحصل نتيجة التداخل في الضوء.
- يقارن بين حيود الضوء وتداخله من خلال استيعاب المفهومين الحيود والتداخل.
- يتعرف مضامين تجربة شقّي يونك.
- يميز بين الضوء المستقطب والضوء الاعتيادي غير المستقطب .
- يذكر بعض طرائق الحصول على الضوء المستقطب.
- يعرف مفهوم ظاهرة الاستطارة في الضوء.

المصطلحات العلمية	
Interference of light waves	تداخل الموجات الضوئية
Young double Slits Experiment	تجربة شقي يونك
Double Slit	الشق المزدوج
Interference in thin Films	التداخل بالاغشية الرقيقة
Wave Light Diffraction	حيود موجات الضوء
Diffraction grating	محزز الحيود
Polarization of light	استقطاب الضوء
Polarized waves	موجات مستقطبة
polarizer	المستقطب
Analyzer	المحلل
Random directions	اتجاهات عشوائية
Polarization of Light by Reflection	استقطاب الضوء بالانعكاس
Brewster angle	زاوية بروستر
Scattering of Light	استطارة الضوء

1-5 مقدمة

لقد تعرفت في دراستك السابقة على بعض الظواهر الضوئية ،وفي هذا الفصل سنتناول دراسة ظواهر أخرى كالتداخل والحيود والاستقطاب.

فماذا يقصد بهذه الظواهر؟ وكيف تحدث؟وما القوانين التي تصفها؟

2-5 تداخل الموجات الضوئية Interference of light waves

للتعرف على مفهوم تداخل الموجات نجري النشاط الآتي :

نشاط (1)

تداخل الموجات

أدوات النشاط:

جهاز حوض المويجات ، مجهز قدرة، هزاز، نقار ذو رأسين مدببين بمثابة مصدرين نقطيين $(S_2،S_1)$ يبعثان موجات دائرية تنتشر على سطح الماء بالطول الموجي نفسه.

خطوات النشاط:

- نعد حوض المويجات للعمل إذ يمس طرفا النقار سطح الماء في الحوض.
- عند اشتغال الهزاز نشاهد طراز التداخل عند سطح الماء نتيجة تراكب الموجات الناتجة عن اهتزاز المصدرين النقطيين المتماثلين $(S_2،S_1)$ الشكل (1).

والآن، يتبادر إلى ذهننا السؤال الآتي؟ أيبعث المصدران الموضحان $(S_2،S_1)$ في الشكل (1) الموجتين بطور واحد ؟ وما نوع التداخل الحاصل؟



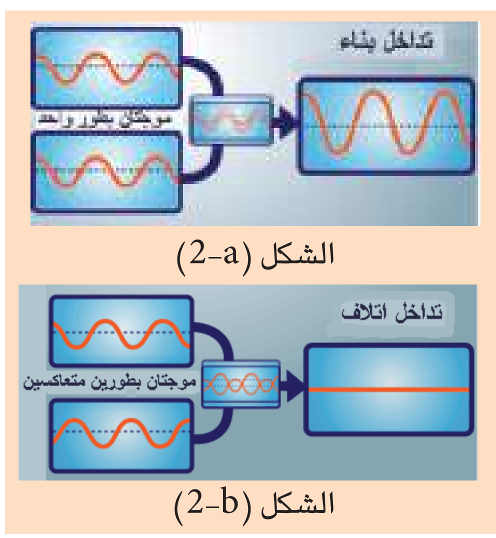
الشكل (1)

ومن مشاهدتنا للتداخل الحاصل للموجات عند سطح الماء يتضح لنا أن هناك نوعين من التداخل هما:

1- عندما يكون للموجتين الطور نفسه والسعة نفسها عند نقطة معينة فإن الموجتين تتحدان عند تلك النقطة لتقوي كل منهما الأخرى وفي هذه الحالة تكون سعة الموجة الناتجة مساوية لضعف سعة أي من الموجتين

الأصليتين ويسمى هذا النوع من التداخل بالتداخل البناء، لاحظ الشكل (2-a). وهو ناتج عن تراكب قمتين او قعرين لموجتين ينتج عنهما تقوية.

2- أما إذا كان التداخل ناتج عن اتحاد سلسلتين من الموجات بطورين متعاكسين وسعتين متساويتين، وهو ناتج عن تراكب قمة موجة مع قعر موجة أخرى، ينتج عن ذلك أن تأثير إحدهما يمحو تأثير الآخر أي إن سعة الموجة الناتجة تساوي صفراً. ويسمى هذا النوع من التداخل تداخل إتلاف، لاحظ الشكل (2-b).



الشكل (2-a)

الشكل (2-b)

وعلى هذا الأساس يمكننا القول إن التداخل في الموجات الضوئية من الصفات العامة لها، وتداخل الضوء هو ظاهرة إعادة توزيع الطاقة الضوئية الناشئة عن تراكب سلسلتين او إكثر من الموجات الضوئية المتشاكهة عند انتشارها بمستو واحد وفي ان واحد في الوسط نفسه. ويتم ذلك على وفق مبدأ تراكب الموجات، (تكون ازاحة الموجة المحصلة عند اي لحظة تساوي حاصل جمع ازاحتي الموجتين المتراكبتين عند اللحظة نفسها).

وان التداخل المستديم بينها يحصل في الحالات الآتية:

1. إذا كانت الموجتان متشاكهتين.
2. إذا كان اهتزازهما في مستوى واحد وفي وسط واحد وتتجهان نحو نقطة واحدة وفي آن واحد.

ومن الجدير بالذكر أن المقصود بالموجات المتشاكهة في الضوء هي الموجات:

1. المتساوية في التردد.
2. المتساوية (او المتقاربة) في السعة.
3. فرق الطور بينهما ثابت.

والمسار البصري هو الازاحة التي يقطعها الضوء في الفراغ بالزمن نفسه الذي يقطعه في الوسط المادي الشفاف

ولحساب فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين تنبعثان بطور واحد عن المصدرين (S_2،S_1) والواصلتين إلى النقطة (p) بدقة بعد معرفة نوع التداخل الحاصل لهذه الموجات ، علما ان فرق الطور Φ بين الموجتين الواصلتين الى النقطة P يحدده فرق المسار البصري بين تلك الموجتين على وفق العلاقة الآتية:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta\ell$$

إذ إن $\Delta\ell$ تمثل فرق المسار البصري بين الموجتين .

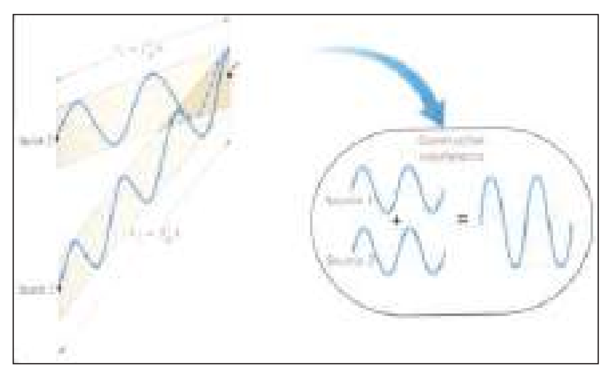
Φ تمثل فرق الطور بين الموجتين.

فلو كان طول المسار البصري $\ell_1 = 2.25\,\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر (S_1) والواصلة الى النقطة p

وطول المسار البصري $\ell_2 = 3.25\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر (S_2) والواصلة الى النقطة P ، لاحظ الشكل (3-a).

فان فرق المسار البصري للموجتين ($\Delta\ell$) يكون:

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$$
$$\Delta\ell = 3.25\lambda - 2.25\lambda$$
$$\Delta\ell = 1\lambda$$



الشكل (3-a) التداخل البناء

أي إن الموجتين المنبعثتين من المصدرين (S_1،S_2) تصلان النقطة p في اللحظة نفسها، وتكونان متوافقتين بالطور وعندئذ يحصل بينهما تداخل بناء عند النقطة p عندما يكون فرق الطور (Φ) بينهما يساوي صفراً أو أعداداً زوجية من $(\pi\ rad)$ اي ان: $\Phi = 0\ ,\ 2\pi\ ,\ 4\pi\ ,\ 6\pi\ ,\ .....rad$

وهذا يعني أن فرق المسار البصري ($\Delta\ell$) يساوي صفراً أو أعداداً صحيحة من طول الموجة

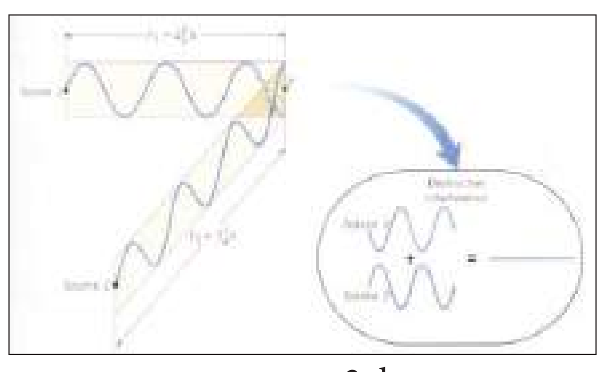
$$\Delta\ell = 0\ , 1\lambda\ , 2\lambda\ , 3\lambda\ , ...$$

وعلى هذا الأساس يكون شرط التداخل البناء هو:

$$\Delta\ell = m\lambda \qquad m = 0,1,2,3.....$$

أما إذا كان طول المسار البصري $\ell_1 = 1\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر S_1 والواصلة إلى النقطة P وطول المسار البصري $\ell_2 = 1.5\lambda$ للموجات المنبعثة من المصدر S_2 والواصلة إلى النقطة P.

فان فرق المسار البصري ($\Delta\ell$) للموجتين يكون (لاحظ الشكل 3-b).



الشكل (3-b) تداخل الاتلاف

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1$$
$$\Delta\ell = 1.5\lambda - 1\lambda$$
$$\Delta\ell = 0.5\lambda$$
$$\Delta\ell = \frac{1}{2}\lambda$$

أي إن الموجتين المنبعثتين من المصدرين (S_1،S_2) تصلان نقطة p في اللحظة نفسها وتتعاكسان بالطور وعندئذ يحصل بينهما تداخل إتلاف عند النقطة p عندما يكون فرق الطور بينهما Φ يساوي أعداداً فردية من $(\pi\ rad)$. أي إن: $\Phi = \pi\ ,\ 3\pi\ ,\ 5\pi\ ,\ .....rad$

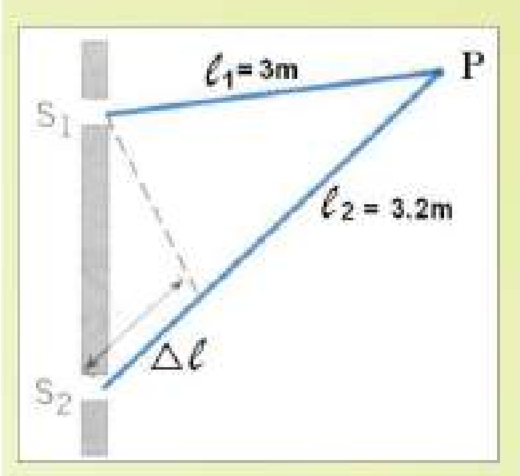
وهذا يعني أن فرق المسار البصري ($\Delta\ell$) بينهما في حالة حصول تداخل اتلاف يساوي أعداداً فردية من نصف طول الموجة أي إن: $\Delta\ell = \frac{1}{2}\lambda\ ,\ \frac{3}{2}\lambda\ ,\ \frac{5}{2}\lambda\ \ .....$

وعلى هذا الأساس يكون شرط تداخل إتلاف هو:

$$\Delta\ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda \qquad m = 0, 1, 2, 3.....$$

مثال (1)

في الشكل المجاور مصدران (S_2،S_1) متشاكهان يبعثان موجات ذات طول موجي ($\lambda = 0.1m$) وتتداخل الموجات الصادرة عنها عند النقطة p في آن واحد.ما نوع التداخل الناتج عند هذه النقطة عندما تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً قدره (3.2m) والأخرى مساراً بصرياً مقداره (3m):



الحل

لمعرفة نوع التداخل الحاصل بين الموجتين يتطلب إيجاد (m)

من شرطي التداخل التاليين كما ذكر آنفاً:

$$\Delta\ell = m\lambda$$

$$\Delta\ell = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 \Rightarrow \Delta\ell = 3.2 - 3$$

$\Delta\ell = 0.2m$ فرق المسار البصري

الاحتمال الاول: $\Delta\ell = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$

$$0.2 = (m + \frac{1}{2}) \times 0.1 \Rightarrow 2 = m + \frac{1}{2}$$

$$\therefore m = 1\frac{1}{2}$$

وهذا لا يحقق شرط التداخل الإتلاف لان قيم (m) يجب أن تكون أعداداً صحيحة مثل (0.1.2.3. . .):

الاحتمال الثاني : $\Delta\ell = m\,\lambda \qquad m = 0, 1, 2, 3.....$

$$0.2 = m \times 0.1 \Rightarrow m = 2$$

وهذا يحقق شرط التداخل البناء لان قيم m اعداد صحيحة.

أي ان :

$m = 0,1,2,3,...$

سؤال:

بالنسبة الى المثال السابق ماذا يحصل عندما:

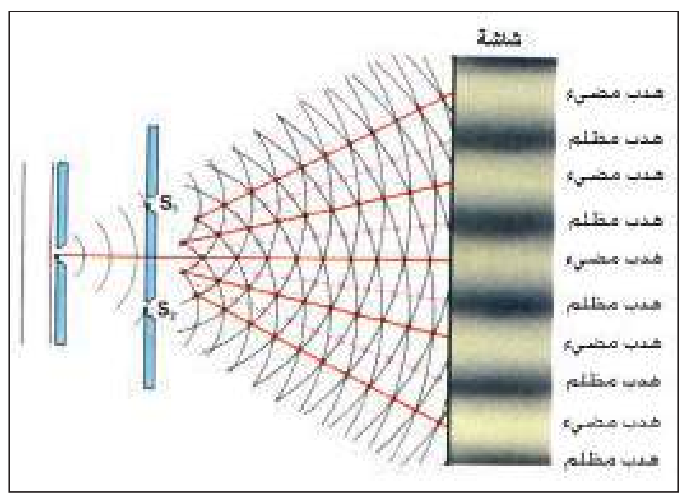
a- تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً مقداره (3.2m) والأخرى تقطع مساراً بصرياً مقداره (3.05m).

b- تقطع إحدى الموجتين مساراً بصرياً مقداره (3.2m) والأخرى تقطع مساراً بصرياً مقداره (2.95m).

ملاحظة : يمكن حل السؤال بطريقة أخرى باستخدام معادلة فرق الطور.

3-5 تجربة شقي يونك Young double slits Experiment

استطاع العالم يونك أن يثبت من خلال تجربته التي أجراها عام 1801 الطبيعة الموجية للضوء إذ تمكن من حساب الطول الموجي للضوء المستعمل في التجربة ،

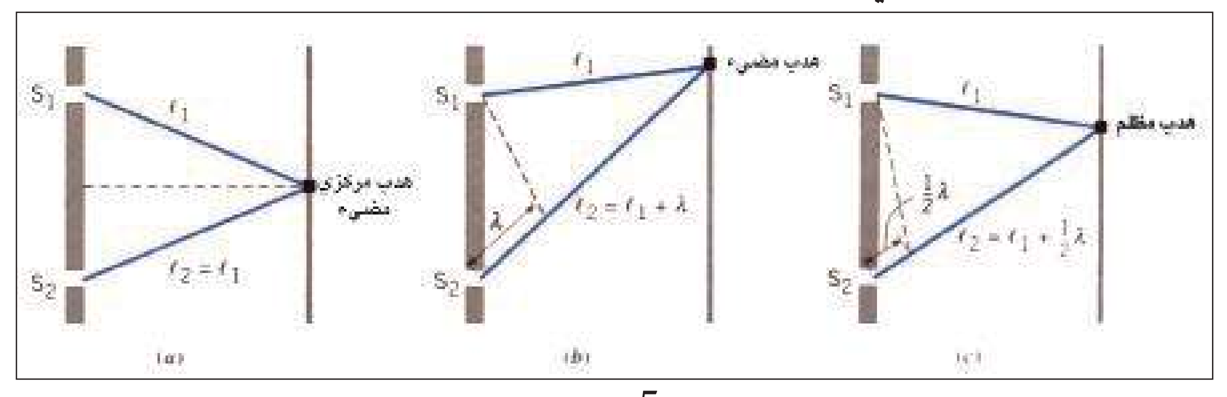


الشكل (4) تجربة شقي يونك

وقد استعمل في تجربته حاجزاً ذا شق ضيق أضيء بضوء أحادي اللون ومن ثم يسقط الضوء على حاجز يحتوي شقين متماثلين ضيقين يسميان بالشق المزدوج (double slit) يقعان على بعدين متساويين عن شق الحاجز الأول، ثم وضع على بعد بضعة أمتار منهما شاشة. وكانت النتيجة التي حصل عليها العالم يونك هي ظهور مناطق مضيئة ومناطق معتمة على التعاقب سميت بالهُدب. لاحظ الشكل (4). وهنا نتساءل عن كيفية تكوَّن الهُدب المضيئة والهدب المظلمة في تجربة يونك.

للإجابة عن ذلك اعتمد الشكل (5) وحاول ان تفسر سبب حصول هذه الهُدب من خلال تذكرك لشروط حصول كل من التداخل البناء والتداخل الإتلاف اللذين تعلمتهما سابقاً .إن الشقين (S_1،S_2) المضاءين بضوء أحادي اللون هما مصدران ضوئيان متشاكهان والموجات الصادرة عنهما يكون فرق الطور فيها ثابتا في الأزمان جميعها، وهذا هو الشرط الأساسيّ لحصول التداخل، وإن نوع التداخل في أية نقطة يعتمد على الفرق بين طول مساريهما البصريين للوصول إلى تلك النقطة.

والشكل (5) يوضح ذلك إذ نلاحظ في الجزئين (b-a) تكون هُدبا مضيئة في حين في الجزء (c) يتكون هداباً مظلماً. ويعتمد ذلك على الفرق في المسافات بين الشقين والشاشة.



الشكل (5) تكون الهدب

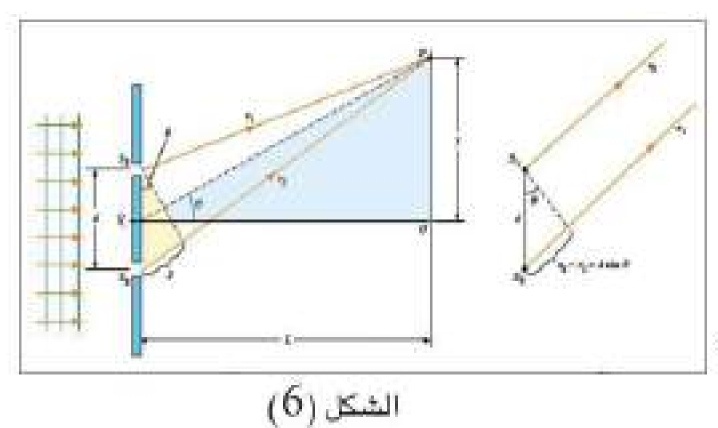
والسؤال الآن: أين تكون مواقع الهُدب المضيئة والهُدب المظلمة على الشاشة؟ بما أن البعد بين الشقين (d) صغير جداً مقارنة ببعدهما عن الشاشة (L) (أي إن: $d<<L$)، وعليه فإن فرق المسار البصري بين الشعاعين المبين في

الشكل (6) يعطى بالعلاقة الآتية :

$$d \sin \theta = \text{فرق المسار البصري}$$

من هنا فان شرط التداخل البناء الحصول على هُداب مضيئة هو: $d \sin\theta = m \lambda$

في حين تحصل على هُداب معتمة (ناتجة عن التداخل الإتلاف) اذا كانت :



الشكل (6)

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda$$

إذ إن m عدد صحيح:

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$$

ولحساب بعد مركز الهداب المضيء أو المظلم عن مركز الهداب المركزي المضيء (y) على وفق العلاقة الآتية:

$$\tan \theta = \frac{y}{L}$$

إذ θ تمثل زاوية الحيود.

y يمثل بعد مركز الهداب المضيء او المظلم عن مركز الهداب المركزي المضيء.

L يمثل بعد الشاشة عن حاجز الشقين، لاحظ الشكل (6).

ومن الجدير بالذكر أن تجربة يونك تعد تجربة مهمة من الناحية العملية في قياس طول الموجة (λ) للضوء الأحادي اللون المستعمل.

ولكون زاوية الحيود θ صغيرة فان:

$$\tan \theta \cong \sin \theta$$

عندها يصبح: $y = L \tan \theta \cong L \sin \theta$

وعندها يمكن تعيين مواقع الهدب المضيئة والمعتمة عن المركز O كما يأتي:

للهُدب المضيئة
$$y_m = \frac{\lambda L}{d} m \quad , \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 , ...)$$

للهُدب المظلمة
$$y_m = \frac{\lambda L}{d} (m + \frac{1}{2}) \quad , \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 , ...)$$

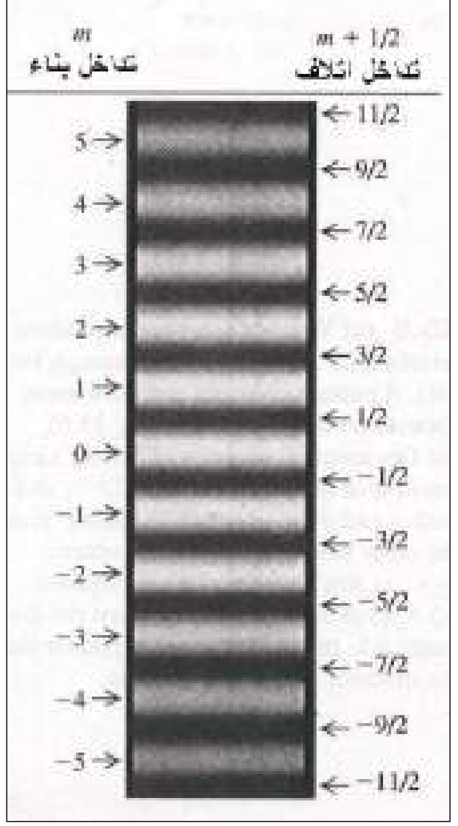
والشكل (7) يوضح مواقع هدب التداخل الحاصلة على الشاشة.

وان الفواصل بين الهدب المتجاورة تسمى فاصلة الهدب Δy (fringe spacing) وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m$$

$$\Delta y = \frac{(m+1)\lambda L}{d} - \frac{m\lambda L}{d}$$

فاصلة الهدب	$\Delta y = \dfrac{\lambda L}{d}$



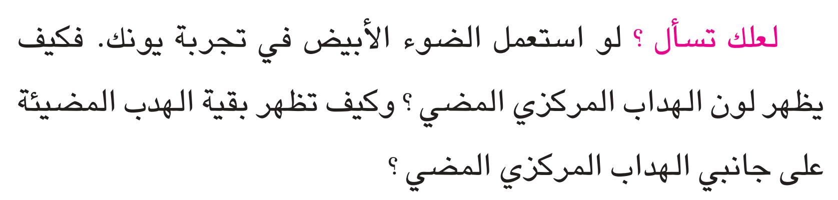
الشكل (7) يوضح مواقع هدب التداخل

تذكر

1- يزداد مقدار فاصلة الهدب (Δy) عندما يزداد بعد الشقين عن الشاشة (L).

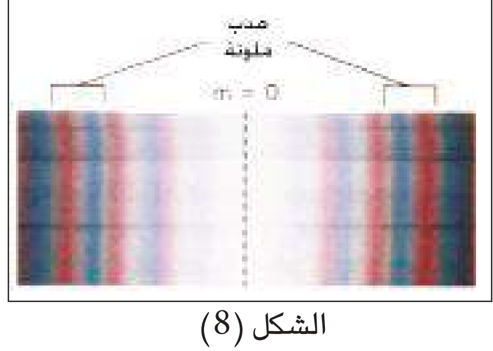
2- يزداد مقدار فاصلة الهدب (Δy) إذا قل البعد بين الشقين (d).

3- يزداد مقدار فاصلة الهدب (Δy) عند ازدياد الطول الموجي للضوء الاحادي المستعمل في تجربة يونك.



لعلك تسأل ؟ لو استعمل الضوء الأبيض في تجربة يونك. فكيف يظهر لون الهداب المركزي المضي ؟ وكيف تظهر بقية الهدب المضيئة على جانبي الهداب المركزي المضي ؟

يظهر الهداب المركزي بلون أبيض وعلى كل من جانبيه تظهر أطياف مستمرة للضوء الأبيض يتدرج كل طيف من اللون البنفسجي الى اللون الأحمر. لاحظ الشكل (8).



الشكل (8)

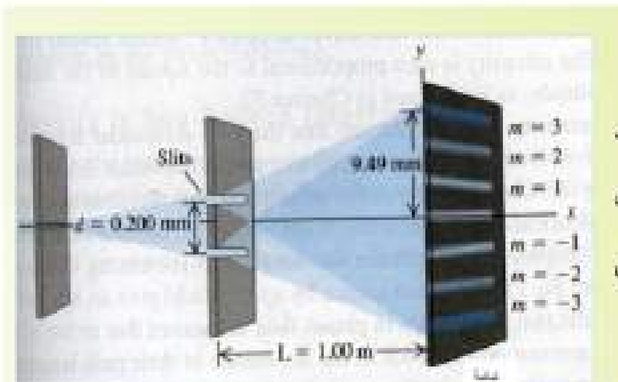
وماذا تتوقع أن يحصل إذا كان المصدران الضوئيان غير متشاكهين ؟ فهل يحصل التداخل البناء والإتلاف ؟ الحقيقة يحصل التداخل البناء والإتلاف بالتعاقب وبسرعة كبيرة جداً لا تدركهما العين، لان كلاً من المصدرين يبعث موجات بأطوار عشوائية متغيرة بسرعة فائقة جداً فلا يمكن الحصول على فرق ثابت في الطور بين الموجات المتداخلة في أية نقطة من نقاط الوسط، لذا تشاهد العين إضاءة مستديمة بسبب صفة دوام الإبصار.

فكر:

في حالة استعمالك لضوءٍ أحمر في تجربة شقي يونك ستشاهد أن المسافات بين هداب التداخل أكبر مما هي عليه في حال استعمال الضوء الأزرق، لماذا؟

مثال (2)

إذا كان البعد بين شقي تجربة يونك يساوي 0.2mm وبعد الشاشة عنهما يساوي 1m، وكان البعد بين الهدب الثالث المضيء عن الهدب المركزي يساوي 9.49mm، لاحظ الشكل (9). احسب طول موجة الضوء المستعمل في هذه التجربة؟



الشكل (9)

الحل

بتطبيق العلاقة الآتية :

للهدب المضيئة

$$\lambda=\frac{y_m d}{mL}=\frac{(9.49\times10^{-3}m)(0.2\times10^{-3}m)}{(3)(1m)}$$

$$\lambda=633\times10^{-9}\text{m}$$

$$\lambda=633\text{nm}$$

فكر:

هل أن الهدب المضيء الثالث ($m=-3$) يعطي الطول الموجي نفسه؟

مثال (3)

في الشكل المجاور، استعمل ضوء أحمر طوله الموجي (λ=664 nm) في تجربة يونك وكان البعد بين الشقين (d=1.2×10^{-4} m)وبعد الشاشة عن الشقين (L=2.75 m). جد المسافة y على الشاشة بين الهدب المضي ذي المرتبة الثالثة عن الهدب المركزي. علماً ان $\tan 0.951=0.0166 \quad \sin 0.951^\circ=0.0166$

الحل

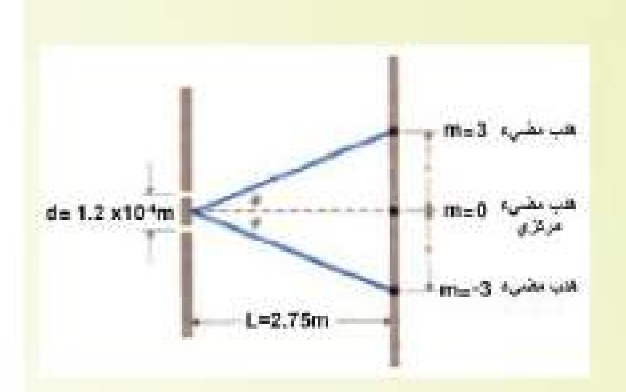
نحسب أولاً قياس الزاوية θ للمرتبة المضيئة الثالثة (m=3)

$$d\sin\theta=m\lambda$$

$$1.2\times10^{-4}\sin\theta=3\times664\times10^{-9}$$

$$\sin\theta=0.0166$$

$$\theta=0.951^\circ$$



ومنها نجد أن:

$$y=L\times\tan\theta$$

$$y=2.75\times\tan 0.951$$

$$y=0.0456\text{ m}$$

$$y=4.56\text{ cm}$$

بعد الهداب المضيء ذي المرتبة الثالثة عن الهداب المركزي المضيء

يمكن حل السؤال بطريقة اخرى من خلال استعمال القانون: $y_m=\frac{mL\lambda}{d}$

4-5 التداخل في الأغشية الرقيقة Interference in thin films

في حياتنا اليومية نشاهد أحياناً تلون بقع الزيت الطافية على سطح الماء بألوان زاهية، أو نشاهد أغشية فقاعة الصابون ملونة بألوان الطيف الشمسي لاحظ الشكل (10)، وسبب ذلك التداخل بين موجات الضوء الأبيض المنعكسة عن السطح الأمامي والسطح الخلفي للغشاء الرقيق.



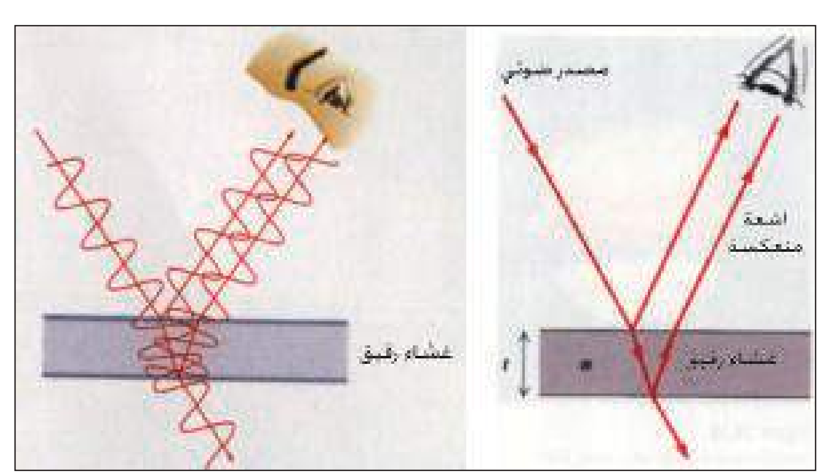
الشكل (10) التداخل في الاغشية الرقيقة

أن التداخل في الأغشية الرقيقة يتوقف على عاملين هما:

a- سمك الغشاء: إذ إن الموجات المنعكسة عن السطح الخلفي للغشاء تقطع زيادة على الذي تقطعه الموجات المنعكسة عن السطح الامامي مساراً يساوي ضعف سمك الغشاء.

b- انقلاب الطور: فالموجات المنعكسة عن السطح الأمامي يحصل لها انقلاباً في الطور مقداره (π rad).

وللتعرف على مفهوم التداخل في الأغشية الرقيقة لاحظ الشكل (11) اذ يبين أن الموجات الضوئية الساقطة على الغشاء ينعكس قسمٌ منها عن السطح الأمامي للغشاء وتعاني انقلاباً في الطور مقداره (π rad) لان كل موجة تنعكس عن وسط معامل انكساره أكبر من الوسط الذي قدمت منه يحصل لها انقلاباً في الطور بمقدار (180°)، اما القسم الاخر من الضوء فان موجاته تنفذ في الغشاء وتعاني انكساراً، وعند انعكاسها عن السطح الخلفي للغشاء (الذي سمكه t) لاتعاني انقلاباً في الطور، بل تقطع زيادة على ذلك مساراً بصرياً يساوي ضعف السمك البصري للغشاء ($2nt$). فيحصل تداخل بين الموجتين المتعاكستين عن السطح الامامي والسطح الخلفي وحسب مقدار فرق الطور.



الشكل (11) التداخل في الاغشية الرقيقة

فاذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للاعداد الفردية لربع طول موجة الضوء الاحادي الساقط $(1\times\frac{1}{4}\lambda, 3\times\frac{1}{4}\lambda, 5\times\frac{1}{4}\lambda, 7\times\frac{1}{4}\lambda, ...)$ سيكون التداخل بناءً على وفق العلاقة الآتية :

$$2nt + \frac{1}{2}\lambda = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, ...$$

أي إن: $nt = (1\times\frac{1}{4}\lambda\,,3\times\frac{1}{4}\lambda\,,5\times\frac{1}{4}\lambda\,,7\times\frac{1}{4}\lambda\,,...)$

إذ يظهر الغشاء مضاء بلون الضوء الساقط عليه (تداخل بناء).

أما إذا كان السمك البصري للغشاء (nt) مساوياً للاعداد الزوجية لربع طول موجة الضوء الاحادي الساقط $(2\times\frac{1}{4}\lambda\,,4\times\frac{1}{4}\lambda\,,6\times\frac{1}{4}\lambda\,,8\times\frac{1}{4}\lambda\,,...)$ سيكون التداخل اتلافي على وفق العلاقة الآتية :

$$2nt+\frac{1}{2}\lambda=\frac{1}{2}\lambda\,,\frac{3}{2}\lambda\,,\frac{5}{2}\lambda\,,...$$

$$2nt=0,\frac{2}{2}\lambda\,,\ \frac{4}{2}\lambda\,,\frac{6}{2}\lambda\,,...$$

أي إن:

$$nt=0\,,\frac{2}{4}\lambda\,,\frac{4}{4}\lambda\,,\frac{6}{4}\lambda\,,...$$

إذ يظهر الغشاء مظلماً (تداخل اتلاف).

تذكر

طول موجة الضوء λ_n في وسط ما معامل انكساره (n) يعطى بـ : $\lambda_n=\frac{\lambda}{n}$

5-5 حيود موجات الضوء

هل جربت يوما أن تنظر الى مصباح مضيء من خلال إصبعين من أصابع يدك عند تقريبهما من بعضهما او النظر الى ضوء الشمس من خلال تقريب رموش عينيك لتشاهد حزم مضيئة ومظلمة بالتعاقب نتيجة حيود الضوء وتداخله. وللتعرف على ظاهرة حيود الضوء نجري النشاط الآتي :

نشاط (2)

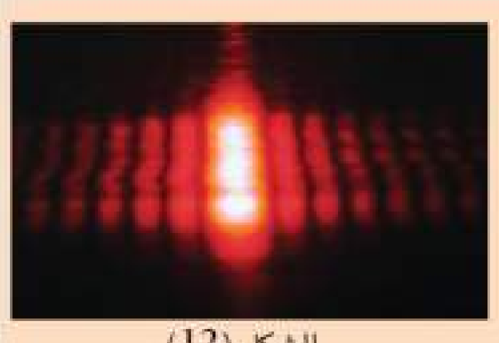
حيود الضوء

أدوات النشاط:

لوح زجاج ، دبوس ، دهان أسود ، مصدر ضوئي أحادي اللون.

خطوات النشاط:

- ادهن لوح الزجاج بالدهان الأسود .
- اعمل شقا رقيعا في لوح الزجاج باستعمال رأس الدبوس .



الشكل (12)

- انظر من خلال الشق إلى المصدر الضوئي، ماذا تلاحظ؟
ستلاحظ مناطق مضيئة تتخللها مناطق معتمة وان المنطقة الوسطى عريضة وشديدة الإضاءة وان الهدب المضيئة تقل شدتها بالتدريج عند الابتعاد عن الهداب المركزي المضيء.
إن ظهور مناطق مضيئة وأخرى مظلمة على جانبي الفتحة تدل على أن الضوء يحيد عن مساره، لاحظ الشكل (12).
إن شروط الحصول على هدب معتمة او هدب مضيئة هو كما يأتي:

- الشرط اللازم للحصول على هدب معتم هو :



$$\ell . \sin\theta = m\,\lambda$$

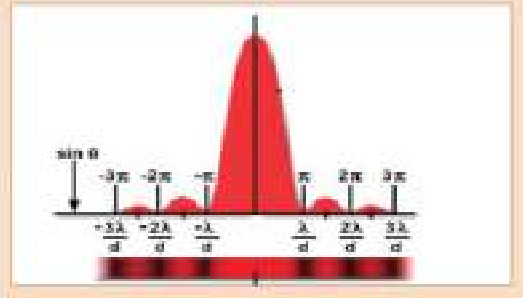
- الشرط اللازم للحصول على هدب مضيء هو :

$$\ell . \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\,\lambda$$

ℓ يمثل عرض الشق

$$m = \pm 1 , \pm 2 , \pm 3 , ...$$

ويوضح الشكل (13) شدة الإضاءة للهدب على الحاجز والتي تكون في قيمتها العظمى عند النقطة المركزية وتقل شدة الإضاءة للهدب كلما ازداد بعدها عن النقطة المركزية.

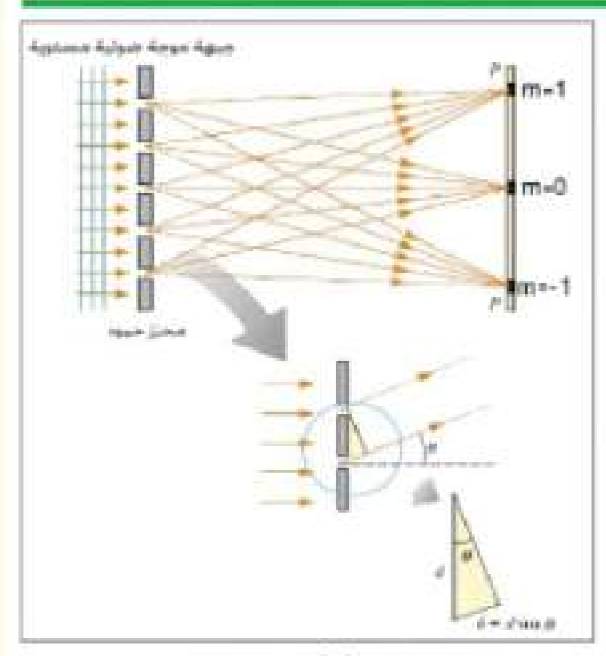


الشكل (13) شدة اضاءة الهدب على الحاجز

6-5 محزز الحيود Diffraction grating

محزز الحيود أداة مفيدة في دراسة الاطياف وتحليل مصادر الضوء وقياس الطول الموجي للضوء إذ يتألف من عدد كبير من الحزوز المتوازية ذوات الفواصل المتساوية، ويمكن صنع المحزز بوساطة طبع حزوز على لوح زجاج في ماكنة تسطير بالغة الدقة، فالفواصل بين الحزوز تكون شفافة إذ تعمل عمل شقوق منفصلة والحز يُعد منطقة مظلمة.

تتراوح عدد الشقوق في السنتمتر الواحد بين line (1000 - 10000)، حز (line) لكل (cm).
وعليه فان ثابت المحزز (d) صغير جدا ويمثل (d) المسافة بين كل حزين متتاليين لاحظ الشكل (14).



الشكل (14) محزز الحيود

فلو كان للمحزز $5000\frac{line}{cm}$ مثلاً فان ثابت المحزز يكون:

$$d = \frac{\text{عرض المحزز } (W)}{\text{عدد الحزوز } (N)}$$

$$d = \frac{w}{N}$$

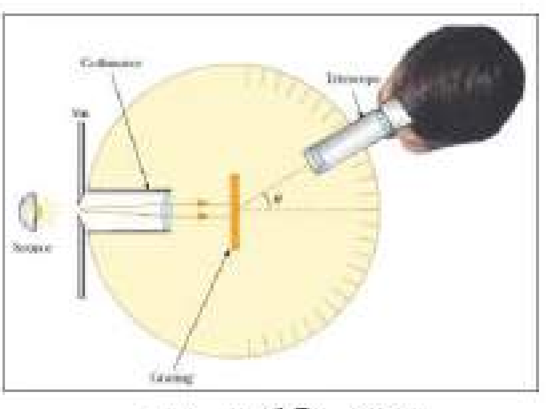
ومنها:

$$\mathbf{d = \frac{1cm}{5000} = 2 \times 10^{-4} cm}$$

إن فرق المسار البصري بين الشعاعين الخارجين من أي شقين متجاورين في محزز الحيود مساويا إلى $(d \sin \theta)$.
فإذا كان هذا الفرق مساويا إلى طول موجة واحدة (λ) أو أعداد صحيحة من طول الموجة $(m\lambda)$ فان الموجات تكون نتيجة تداخلها هدب مضيئة على الشاشة على وفق العلاقة الآتية:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad , \quad m = \pm 1 , \pm 2 , \pm 3 , \ldots\ldots$$

يمكن استعمال العلاقة أعلاه لحساب الطول الموجي لضوء أحادي اللون باستعمال جهاز يسمى المطياف (spectrometer) لاحظ الشكل (15).



الشكل (15) المطياف

مثال (4)

ضوء أحادي اللون من ليزر هيليوم – نيون طوله الموجي $(\lambda = 632.8\ nm)$ يسقط عموديا على محزز حيود يحتوي السنتمتر الواحد منه على (6000 line). جد زوايا الحيود (θ) للمرتبة الأولى والثانية المضيئة.

علماً ان $\sin 49^\circ = 0.7592 \quad , \quad \sin 21.3^\circ = 0.3796$

الحل

$$d = \frac{W}{N}$$

$$d = \frac{1cm}{6000}$$

$$d\ (\text{ثابت المحزز}) = 1.667 \times 10^{-4} cm$$

(1) للهدب المضيئة (m=1)

$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$1.667 \times 10^{-4} cm \times \sin \theta_1 = 1 \times 632.8 \times 10^{-7} cm$$

$$\sin \theta_1 = \frac{1 \times 632.8 \times 10^{-7} cm}{1.667 \times 10^{-4} cm}$$

$$\sin \theta_1 = 0.3796$$

ومنها :

$\theta_1 = 21.3^\circ$ وتمثل زاوية حيود المرتبة الاولى المضيئة .

للهدب المضيئة (m=2) (2)

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$1.667\times10^{-4}cm \times \sin\theta_2 = 2\times632.8\times10^{-7}cm$$

$$\sin\theta_2 = 0.7592$$

ومنها $\theta_2 = 49^\circ$ وهي تمثل زاوية حيود المرتبة الثانية المضيئة.

7-5 استقطاب الضوء Polarization of Light

عند دراستك لظاهرتي الحيود والتداخل تبين لك أن هاتين الظاهرتين تثبت الطبيعة الموجية للضوء، الإ أنهما لم تثبتا حقيقة الموجة الضوئية أطولية هي أم مستعرضة ؟ ولفهم ذلك نقوم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (3)

استقطاب الموجات

أدوات النشاط: حبل مثبت من أحد طرفيه بجدار ، حاجز ذو شق.

خطوات النشاط:

- نمرر الطرف السائب من الحبل عبر شق الحاجز. ونجعل الشق طوليا نحو الاعلى وعموديا مع الحبل.
- نشد الحبل ثم ننتره لتوليد موجة مستعرضة منتقلة فيه. نشاهد أن الموجة المستعرضة قد مرت من خلال الشق. لاحظ الشكل (16-a)
- نجعل الشق بوضع أفقي ثم نشد الحبل وننتره، نشاهد أن الموجة المستعرضة المتولدة في الحبل لا يمكنها المرور من خلال الشق . لاحظ الشكل (16-b)

الشكل (16)

يمكنك التوصل إلى النتيجة نفسها مع موجات الضوء، إذا استعملت شريحة من التورمالين وهي مادة شفافة تسمح بمرور موجات الضوء الذي يكون تذبذب مجاله الكهربائي بالاتجاه العمودي وتحجب موجات الضوء الذي يكون تذبذب مجاله الكهربائي بالاتجاه الأفقي على الشق وذلك بامتصاصها داخليا. ولمعرفة ذلك قم بإجراء النشاط الآتي:

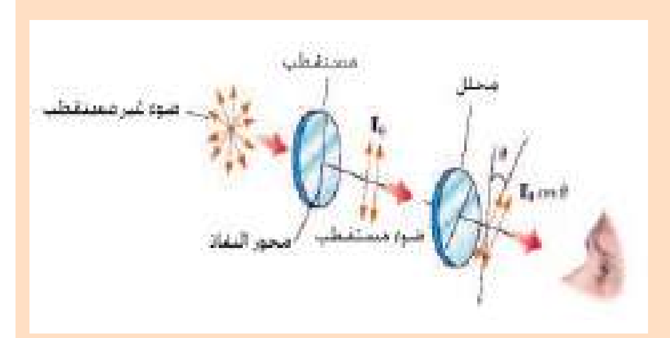
نشاط (4)

استقطاب موجات الضوء

أدوات النشاط: شريحتان من التورمالين ، مصدر ضوئي

خطوات النشاط:

- خذ شريحة من التورمالين وضعها في طريق مصدر الضوء.
- قم بتدوير الشريحة حول المحور المار من وسطها والعمودي عليها، ولاحظ هل يتغير مقدار الضوء النافذ ؟
- ضع شريحتين من التورمالين كما موضح في الشكل (17).
- ثبت احدى الشريحتين، دور الشريحة الأخرى ببطء حول الحزمة الضوئية ولاحظ شدة الضوء النافذ كما موضح في الشكل (17).



الشكل (17) استقطاب موجات الضوء

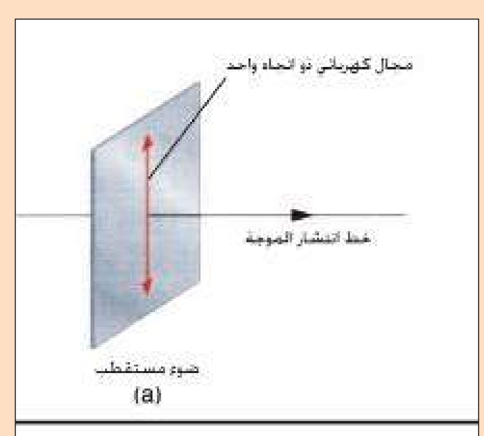
وقد تتسائل لماذا تتغير شدة الإضاءة عند تدوير الشريحة الثانية مع العلم أن لها التركيب نفسه ؟

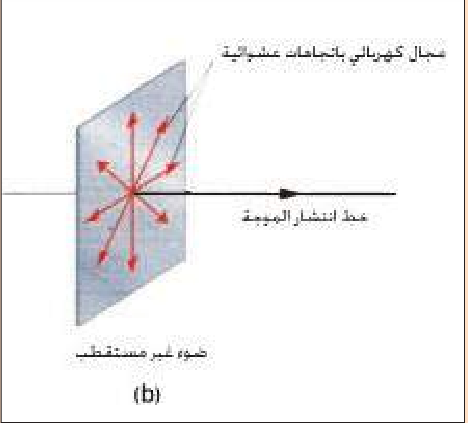
إن الضوء غير المستقطب هو موجات مستعرضة يهتز مجالها الكهربائي في الاتجاهات جميعها، وبلورة التورمالين تترتب فيها الجزيئات بشكل سلسلة طويلة إذ لا يسمح بمرور الموجات الضوئية إلا إذا كان مستوى اهتزاز مجالها الكهربائي عمودي على خط السلسلة بينما تقوم بامتصاص باقي الموجات وهذه العملية تسمى الاستقطاب (Polarization) والموجات الضوئية تسمى موجات ضوئية مستقطبة (Polarized Waves).

وتسمى الشريحة التي تقوم بهذه العملية المستقطب (polarizer) والشريحة الثانية بالمحلل (analyzer).

في حالة الضوء المستقطب فيكون تذبذب المجال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية باتجاه واحد، لاحظ الشكل (18-a).

أما في حالة الضوء غير المستقطب فيكون تذبذب مجالها الكهربائي باتجاهات عشوائية (Random Directions) وفي مستويات متوازية عمودية على خط انتشار الموجة. لاحظ الشكل (18-b).



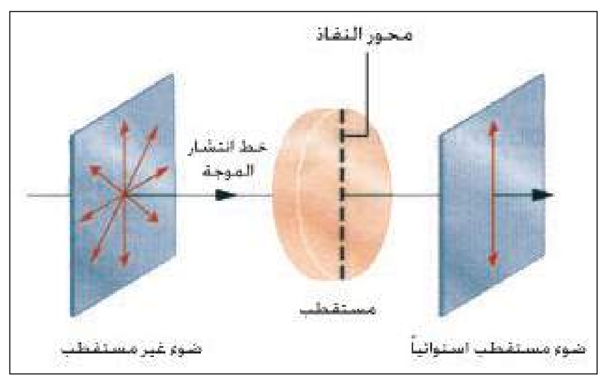


الشكل (18)

بمساعدة بعض المواد المستقطبة للضوء مثل (التورمالين الكالسايت) يمكن الحصول على الضوء المستقطب من الضوء غير المستقطب.

يكون اتجاه محور النفاذ للمادة المستقطبة هو اتجاه استقطاب الضوء نفسه والمار خلال المادة لاحظ الشكل (19).

وللتعرف على تاثير المادة المستقطبة في شدة الضوء النافذ من خلالها نجري النشاط الآتي :



الشكل (19)

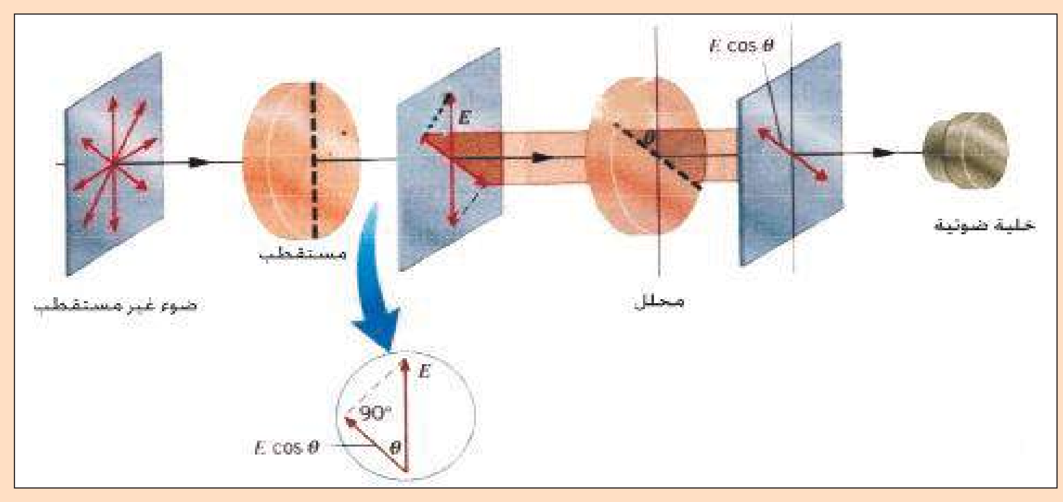
نشاط (5)

المادة المستقطبة وشدة الضوء المستقطب النافذ من خلالها

أدوات النشاط: مصدر ضوئي أحادي اللون ، شريحتان من مادة التورمالين، خلية ضوئية.

خطوات النشاط:

- نضع المصدر الضوئي أمام اللوح المستقطب ثم نضع اللوح الثاني المحلل خلفه نلاحظ تناقص شدة الضوء النافذ خلال اللوحين.
- نقوم بتدوير اللوح المحلل حتى تنعدم شدة الضوء تماماً. لاحظ الشكل (20).



الشكل (20) يوضح المادة المستقطبة وشدة الضوء المستقطب

نستنتج من ذلك:

أن الضوء النافذ من خلال اللوح المستقطب قد استقطب أستوائياً وقلت شدته، وعند نفوذه من اللوح المحلل قلت شدته أكثر.

عند تدوير اللوح المحلل عند وضع معين له نجد أن شدة الضوء تختفي تماماً عند النظر من خلاله وهذا يدل على أن الضوء المستقطب قد حجبه المحلل بالكامل، لاحظ الشكل (20).

طرائق الاستقطاب في الضوء Polarization Methods In Light

يمكن الحصول على حزمة ضوئية مستقطبة خطياً (استوائياً أو كلياً) من حزمة ضوئية غير مستقطبة.

هنا نتساءل كيف ؟ وما التقنيات المستعملة لهذا الغرض ؟

يمكن ذلك بوساطة إزالة معظم الموجات من الحزمة الضوئية (غير المستقطبة) ما عدا تلك التي مجالها الكهربائي يتذبذب في مستوٍ واحد منفرد ، وأن معظم التقنيات الشائعة الاستعمال للحصول على ضوء مستقطب باستعمال مواد تُنفذ الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية في مستوٍ موازٍ لاتجاه معين وهو المحور البصري وتمتص تلك الموجات التي تتذبذب مجالاتها الكهربائية بالاتجاهات الأخرى. ومن طرائق الاستقطاب في الضوء:

1- الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي Polarization By Selective Absorption

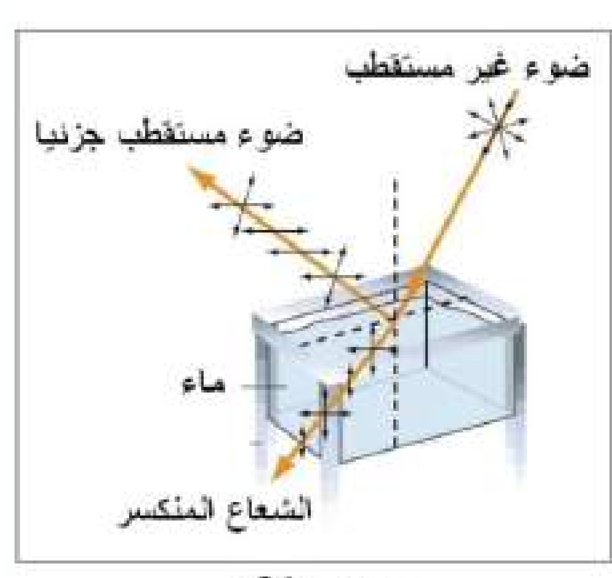
لقد اكتشفت مواد تسمى بالقطبية والتي تستقطب الضوء عن طريق الامتصاص الانتقائي، إذ تصنع هذه المواد بهيئة ألواح رقيقة ذات سلسلة هيدروكاربونية طويلة وتكون الألواح ممتدة خلال تصنيعها اذ تتراصف جزيئات السلسلة الطويلة لتكوّن محور بصري لنفاذ الضوء والتي يكون مجالها الكهربائي عموديا على محورها البصري.

ومن الجدير بالذكر أن هناك مواداً تسمى بالمواد النشطة بصرياً مثل (بلورة الكوارتز، سائل التربنتين ، محلول السكر في الماء).

هذه المواد لها القابلية على تدوير مستوى الاستقطاب للضوء المستقطب عند مروره من خلالها بزاوية تسمى بزاوية الدوران البصري والتي تعتمد على نوع المادة وسمكها وتركيز المحلول وطول موجة الضوء المار خلالها.

2- استقطاب الضوء بالانعكاس Polarization of Light By Reflection

اكتشف العالم مالوس (Malus) أنه عند سقوط الضوء على سطوح عاكسة كالمرايا المستوية أو كسطح ماء في بحيرة أو كالزجاج، فإن الضوء المنعكس يكون مستقطبا جزئيا وفي مستوي موازٍ لمستوى السطح العاكس كما في الشكل (21). في حين الضوء المنكسر في الوسط الثاني يكون في مستوى سقوط الأشعة.



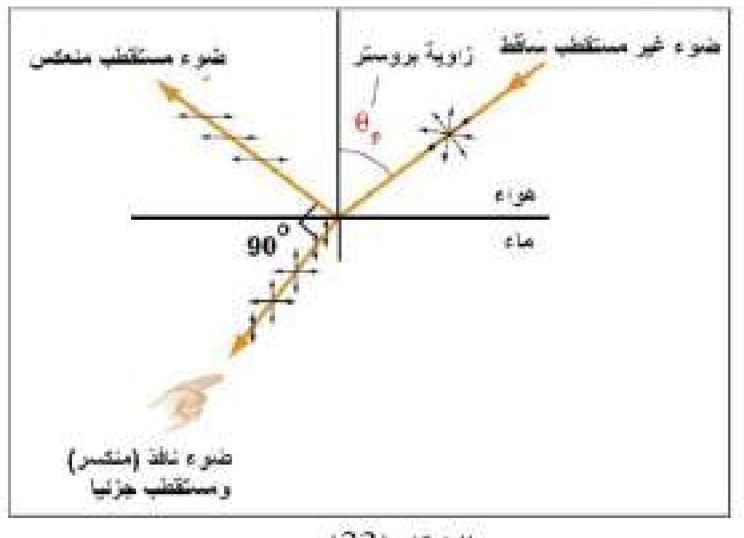
الشكل (21)

وتعتمد درجة الاستقطاب على زاوية السقوط، فإذا كانت زاوية سقوط الضوء تساوي صفراً لا يحدث استقطاب، في حين يزداد الاستقطاب بزيادة زاوية السقوط إلى أن يصل إلى استقطاب استوائي كلي عند زاوية معينة تسمى زاوية بروستر (Brewster Angle). لاحظ الشكل (22).

ويكون الشعاع المنكسر مستقطبا جزئيا وتكون الزاوية بين الشعاع المنعكس والمنكسر قائمة (90^0).

كما وجد العالم بروستر علاقة بين زاوية الاستقطاب θ_p ومعامل انكسار الوسط (n) على وفق العلاقة الآتية:

$$\tan \theta_p = n$$



الشكل (22)

8-5 استطارة الضوء Scattering of Light

لابد أنك شاهدت قرص الشمس عند الشروق وعند الغروب فلاحظت تلون الأفق بلون الضوء الأحمر. وربما تتساءل: ما سبب هذا اللون الطاغي عند الأفق؟

ولماذا تبدو السماء بلونها الأزرق الباهت عندما تكون الشمس فوق الأفق نهاراً ؟ لاحظ الشكل (23).



الشكل (23)

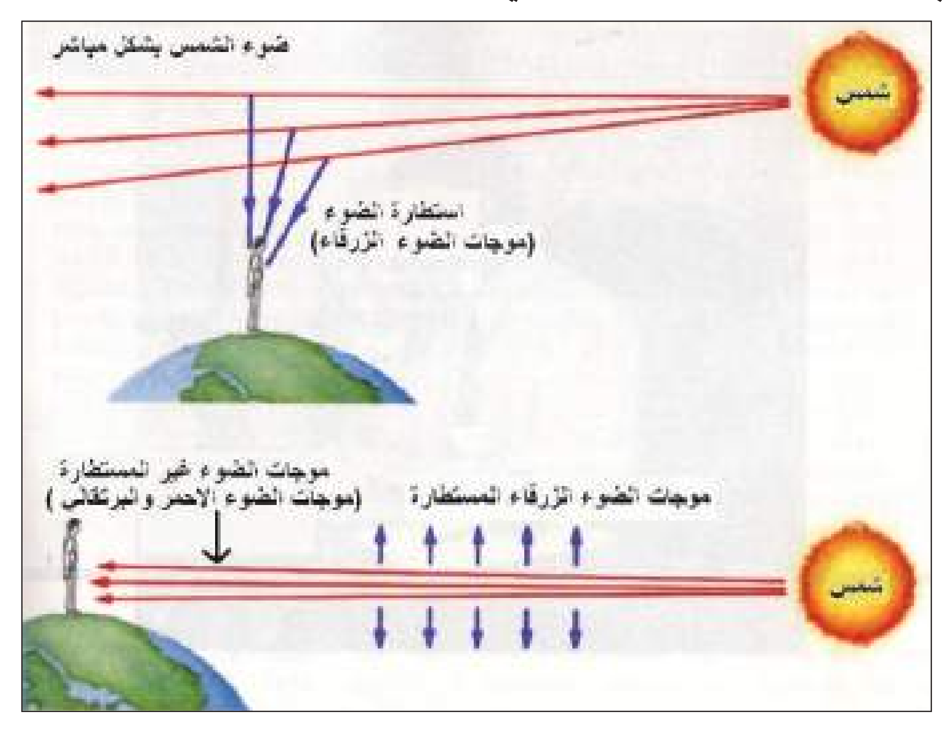
إن سبب ذلك يعود الى ظاهرة الاستطارة في الضوء .

فعند سقوط ضوء الشمس (الذي تتراوح أطواله الموجية λ بين($400nm - 700nm$) على جزيئات الهواء ودقائق الغبار التي أقطارها تبلغ d (اذ ان $d \leq \lambda$) وجد أن شدة الضوء المستطار يتناسب عكسيا مع الأس الرابع للطول الموجي أي مع $(\frac{1}{\lambda^4})$.

وعلى هذا الأساس فإن الأطوال الموجية القصيرة من ضوء الشمس (وهو الضوء الأزرق) يستطار بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الطويلة (وهو الضوء الأحمر) لاحظ الشكل (24).

لذلك عندما ننظر الى السماء نحو الأعلى فإننا نراها زرقاء بسبب استطارة الضوء الأزرق.

أما إذا نظرنا الى السماء باتجاه الغرب وقت الغروب (أو باتجاه الشرق وقت الشروق) فإننا نرى الوان الضوء الاحمر والبرتقالي تلوّن الافق عند غروب الشمس أو في أثناء شروقها لقلة استطارتها.



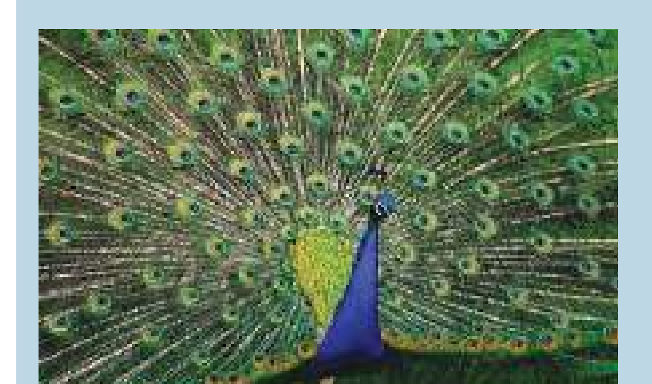
الشكل (24) الضوء الازرق يستطار بنسبة أكبر من الضوء الاحمر

والجدول أدناه يبين مدى (extent) استطارة الضوء بوساطة جزيئات الهواء.

اللون	بنفسجي	أزرق	أخضر	أصفر	برتقالي	أحمر
الطول الموجي	0.40	0.48	0.52	0.58	0.60	0.70
العدد النسبي للموجات المستطارة	10	5	4	3	2	1

هل تعلم

الشكل المجاور يوضح أن ريش بعض الطيور يتلون بألوان زاهية نتيجة استطارة الضوء وظهور ريشها للناظر بهذه الألوان التركيبية.



أسئلة الفصل الخامس

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1– في حيود الضوء من شق واحد، فإن شرط تكون الهداب المضيء الأول (غير المركزي) أن يكون عرض الشق مساويا الى :

a. λ

b. $\frac{\lambda}{2\sin\theta}$

c. $\frac{3\lambda}{2\sin\theta}$

d. $\frac{\lambda}{2}$

2– تُعزى الوان فقاعات الصابون إلى ظاهرة :

a– التداخل.

b– الحيود.

c– الاستقطاب.

d– الاستطارة.

3– سبب ظهور هدب مضيئة وهدب مظلمة في تجربة شقي يونك هو:

a– حيود وتداخل موجات الضوء معا.

b– حيود موجات الضوء فقط.

c– تداخل موجات الضوء فقط.

d– استعمال مصدرين ضوئيين غير متشاكهين.

4– إذا سقط ضوء أخضر على محزز حيود فإن الهداب المركزي يظهر بلون :

a– أصفر.

b– أحمر.

c– أخضر.

d– أبيض.

5- تزداد زاوية حيود الضوء مع :

a- نقصان الطول الموجي للضوء المستعمل.

b-زيادة الطول الموجي للضوء المستعمل.

c- بثبوت الطول الموجي للضوء المستعمل.

d-كل الاحتمالات السابقة معا.

6- إذا كان فرق المسار البصري بين موجتين ضوئيتين متشاكهتين متراكبتين يساوي أعدادا فردية من أنصاف الأطوال الموجية عندها يحصل :

a- تداخل بناء.

b-استطارة.

c- استقطاب.

d-تداخل اتلاف.

7- لحصول التداخل المستديم في موجات الضوء يجب أن يكون مصدراهما :

a- متشاكهين

b-غير متشاكهين

c- مصدرين من الليزر

d-جميع الاحتمالات السابقة.

8- في تجربة شقي يونك . يحصل الهداب المضيء الاول على جانبي الهداب المركزي المضيء المتكون على الشاشة عندما يكون فرق المسار البصري مساويا الى:

a- $\frac{1}{2}\lambda$

b- λ

c- 2λ

d- 3λ

9- نمط التداخل يتولد عندما يحصل :

a- الانعكاس　　b . الانكسار　　c . الحيود　　d. الاستقطاب

10- أغشية الزيت الرقيقة وغشاء فقاعة صابون الماء تبدو ملونه بألوان زاهية نتيجة الانعكاس و :

a . الانكسار　　b. التداخل　　c . الحيود　　d. الاستقطاب

11- الخاصية المميزة للطيف المتولد بوساطة محزز الحيود تكون :

a- الخطوط المضيئة واضحة المعالم

b- انتشار الخطوط المضيئة

c- انعدام الخطوط المضيئة

d- انعدام الخطوط المظلمة

12- حزمة الضوء غير المستقطبة هي التي تكون تذبذب مجالاتها الكهربائية.

a- مقتصرة على مستو واحد

b- تحصل في الاتجاهات جميعها.

c- التي لا يمكنها المرور خلال اللوح القطيب.

d- تحصل في اتجاهات محددة.

13- الموجات الطولية لا يمكنها إظهار .

a- الانكسار b- الانعكاس c- الحيود d- الاستقطاب.

14. تكون السماء زرقاء بسبب

a- جزيئات الهواء تكون زرقاء

b- عدسة العين تكون زرقاء.

c- استطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات القصيرة الطول الموجي

d- استطارة الضوء تكون أكثر مثالية للموجات طويلة الطول الموجي.

15. عند إضاءة شقي يونك بضوء أخضر طوله الموجي ($5\times10^{-7}m$) وكان البعد بين الشقين.($1mm$) وبعد الشاشة عن الشقين .($2m$) فإن البعد بين مركزي هدابين مضيئين متتاليين في نمط التداخل المتكون على الشاشة يساوي:

a- 0.1 mm

b- 0.25 mm

c- 0.4 mm

d- 1 mm

س2 هل يمكن للضوء الصادر عن المصادر غير المتشاكهة أن يتداخل؟ وهل يوجد فارق بين المصادر المتشاكهة وغير المتشاكهة؟

س3 مصدران ضوئيان موضوعان الواحد جنب الآخر معاً اسقطت موجات الضوء الصادر منهما على شاشة. لماذا لا يظهر نمط التداخل من تراكب موجات الضوء الصادرة عنهما على الشاشة ؟

س4 لو أجريت تجربة يونك تحت سطح الماء، كيف يكون تاثير ذلك في طراز التداخل؟

س5 ما الشرط الذي يتوافر في الفرق بطول المسار البصري بين موجتين متشاكهتين متداخلتين في حالة:

a- التداخل البناء.

b- التداخل الاتلافي.

س6 خلال النهار ومن على سطح القمر يرى رائد الفضاء السماء سوداء ويتمكن من رؤية النجوم بوضوح، في حين خلال النهار ومن على سطح الارض يرى السماء زرقاء وبلا نجوم، ما تفسير ذلك؟

س7 ما التغير الذي يحصل في عرض المنطقة المركزية المضيئة لنمط الحيود من شق واحد عندما نجعل عرض الشق يضيق أكثر؟

المسائل الفصل الخامس

س1 وضعت شاشة على بعد $(4.5m)$ من حاجز ذي شقين وأضيء الشقان بضوء أحادي اللون طول موجته في الهواء $(\lambda = 490\ nm)$ فكانت المسافة الفاصلة بين مركز الهداب المركزي المضيء ومركز الهداب ذو المرتبة $(m=1)$ المضيء تساوي $(4.5\ cm)$ ، ما مقدار البعد بين الشقين؟

س2 ضوء أبيض تتوزع مركبات طيفه بوساطة محزز حيود فإذا كان للمحزز $2000\ line/cm$. ما قياس زاوية حيود المرتبة الأولى للضوء الأحمر ذي الطول الموجي $(\lambda = 640\ nm)$. اذا علمت ان

$$\sin 7.5^{\circ} = 0.128$$

س3 سقطت حزمة ضوئية على سطح عاكس بزوايا سقوط مختلفة القياس ، وقد تبين أن الشعاع المنعكس اصبح مستقطبا كليا عندما كانت زاوية السقوط 48° احسب معامل الانكسار للوسط ؟ علما أن :

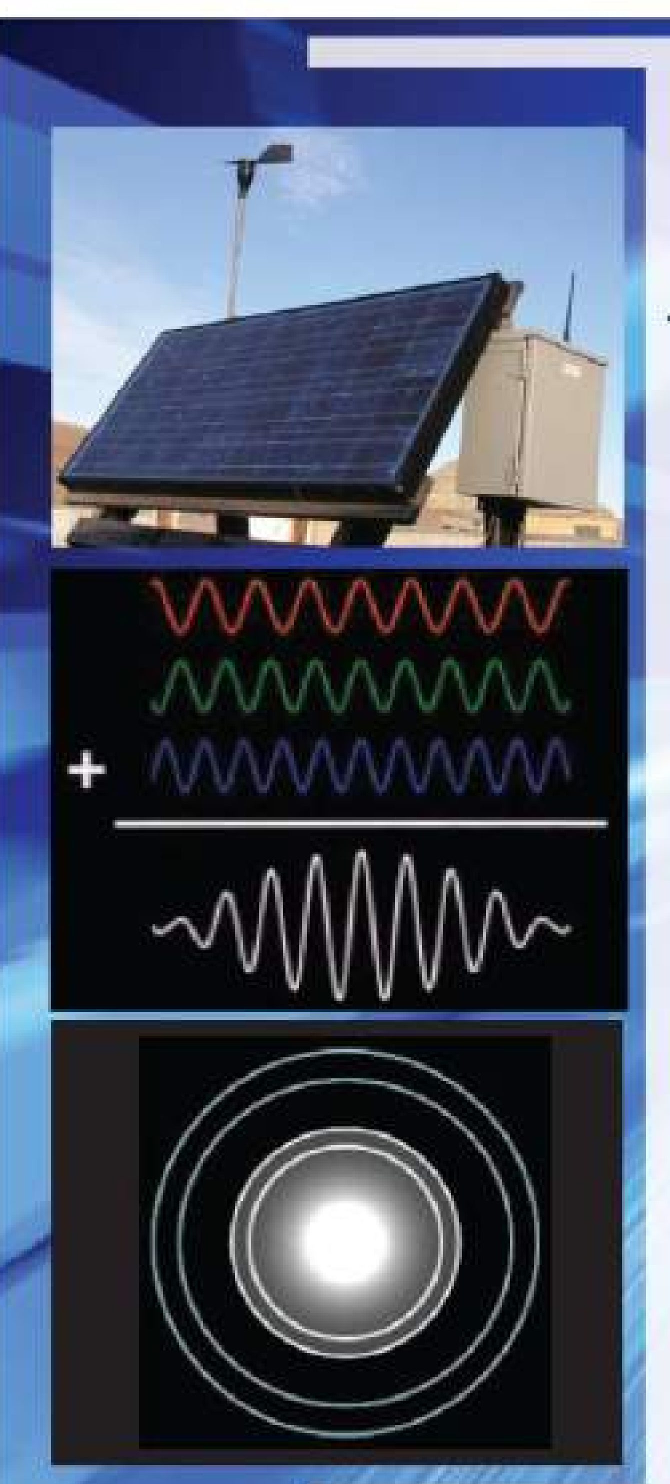
$$\tan 48^{\circ} = 1.110$$

س4 إذا كانت الزاوية الحرجة للاشعة الضوئية لمادة العقيق الازرق المحاطة بالهواء 34.4° ، احسب زاوية الاستقطاب للاشعة الضوئية لهذه المادة ، علما إن:

$$\sin 34.4 = 0.565 \quad , \quad \tan 60.5^{\circ} = 1.77$$

الفصل السادس 6

الفيزياء الحديثة
Modern Physics



مفردات الفصل:

1-6 مقدمة

2-6 نظرية الكم(إشعاع الجسم الاسود وفرضية بلانك).

3-6 الظاهرة الكهروضوئية.

4-6 الجسيمات (الدقائق) والموجات.

5-6 الموجات المادية.

6-6 مدخل إلى مفهوم ميكانيك الكم ودالة الموجة.

7-6 مبدأ اللادقة لهايزنبرك.

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يوضح مفهوم الجسم الاسود.
- يذكر اقتراح (فرضية) بلانك بالنسبة للطاقة المكماة.
- يحدد فوائد بعض تطبيقات الخلية الكهروضوئية.
- يعرف مفهوم دالة الشغل وتردد العتبة لمعدن.
- يدرك معنى سلوك الجسيمات كموجات.
- يدرك معنى سلوك الموجات كجسيمات.
- يذكر العلاقة بين زخم الفوتون وطوله الموجي.
- يوضح فرضية دي برولي.
- يوضح دالة الموجة.
- يذكر مبدأ اللادقة (اللايقين).
- يحل المسائل بتطبيق العلاقات الرياضية في الفصل.

المصطلحات العلمية	
modern physics	الفيزياء الحديثة
classical mechanics	الميكانيك الكلاسيكي (التقليدي)
quantum mechanics	الميكانيك الكمي
photoelectrons	الالكترونات الضوئية
stopping potential	جهد الايقاف (القطع)
threshold frequency	تردد العتبة
photocell	خلية كهروضوئية
quantized	مكماة
wave function	دالة الموجة
probability	احتمالية
matter waves	موجات مادية
wave properties	خواص موجية
particle properties	خواص جسيمية (دقائقية)
dual behavior	سلوك ثنائي
threshold wavelength	طول موجة العتبة
macroscopic world	العالم البصري (المرئي)
microscopic world	العالم المجهري (غير المرئي)
wave packet	رزمة (مجموعة) موجية
work function	دالة الشغل

1-6 مقدمة Introduction

في بداية القرن العشرين حدثت تغيرات جذرية في علم الفيزياء فقد أفضت العديد من التجارب العملية الجديدة الى نتائج لاتخضع لتفسيرات القوانين الكلاسيكية (التقليدية)، ومن هذه التجارب تجربة إشعاع الجسم الاسود والظاهرة الكهروضوئية. ولتفسير إشعاع الجسم الأسود قدم العالم بلانك الأفكار الاساسية التي أدت الى صياغة نظرية الكم وقام العالم اينشتين بافتراض أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات مثلما يسلك سلوك الموجات.

ومن أجل تفسير المشاهدات الجديدة المميزة نشأ مفهوم جديد نطلق عليه اسم الفيزياء الحديثة.

2-6 نظرية الكم (اشعاع الجسم الاسود وفرضية بلانك)

Quantum theory (Blackbody radiation and Planck's hypothesis)

من المعروف أنه تنبعث من جميع الأجسام أشعة حرارية بشكل موجات كهرومغناطيسية إلى الوسط المحيط بها، كما أنها تمتص أيضاً إشعاع حراري من هذا الوسط.

في نهاية القرن التاسع عشر أصبح واضحاً أنّ النظرية الكلاسيكية للاشعاع الحراري اصبحت غير مناسبة، ولكن لماذا؟

شكل (1)

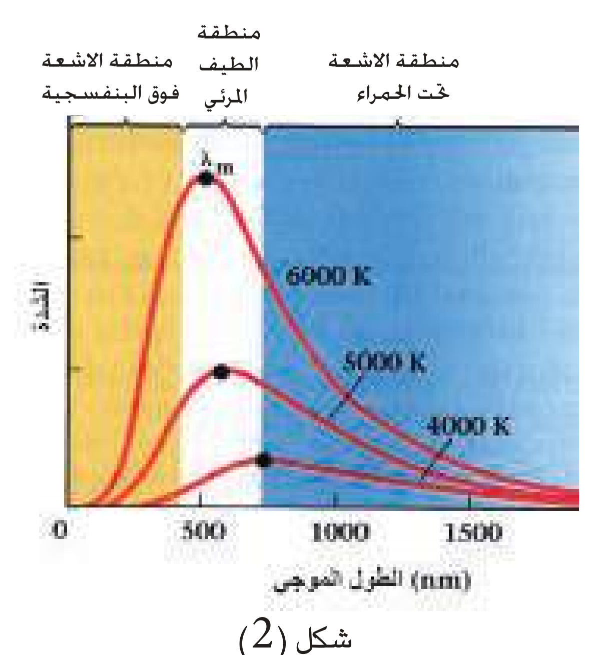
المشكلة الاساسية والرئيسة كانت في تفسير او فهم توزيع الاطوال الموجية من الاشعاع الصادر من الجسم الاسود، فماذا يقصد بالجسم الاسود وكيف يمكننا تمثيله عملياً؟ الجسم الاسود هو نظام مثالي يمتص جميع الاشعاعات الساقطة عليه (وهو ايضاً مشع مثالي عندما يكون مصدراً للاشعاع)، وكتقريب جيد يمكننا تمثيل الجسم الاسود عملياً بفتحة ضيقة داخل فجوة (أو جسم أجوف)، لاحظ شكل (1).

ان طبيعة الاشعة المنبعثة من الفتحة الضيقة التي تؤدي الى الفجوة قد وجد بانها تعتمد فقط على درجة الحرارة المطلقة لجدران الفجوة. وهنا قد يتبادر الى ذهنك السؤال الآتي :

كيف يتغير توزيع طاقة اشعاع الجسم الاسود مع الطول الموجي ودرجة الحرارة المطلقة؟

الشكل (2) يبين النتائج العملية لتوزيع طاقة اشعاع الجسم الاسود كدالة للطول الموجي ولدرجات حرارة مطلقة مختلفة.

يمكن أن نلاحظ من الشكل (2) ما يأتي:



شكل (2)

1- المعدل الزمني للطاقة التي يشعها الجسم الأسود لوحدة المساحة (الشدة) تتناسب طردياً مع المساحة تحت المنحني، إذ وجد أن هذه المساحة تتناسب طردياً مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة (عدا الصفر المطلق) للأجسام السوداء ويعبر عن ذلك بقانون ستيفان – بولتزمان (The Stefan- Boltzmann Law) الذي يعطى على وفق العلاقة الآتية :

$$I = \sigma T^4$$

إذ إن:

(I) يمثل شدة الاشعاع بوحدة ($\frac{W}{m^2}$)

(T) تمثل درجة الحرارة المطلقة بوحدة الكلفن (K)

(σ) يمثل ثابت ستيفان – بولتزمان

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

هل تعلم

يشع الحديد الصلب المنصهر الطاقة بمعدلات مرتفعة وهو يشكل مثالاً على قانون ستيفان – بولتزمان للاشعاع.



2- إن ذروة التوزيع الموجي للاشعاع المنبعث من الجسم الاسود تنزاح نحو الطول الموجي الاقصر عند ارتفاع درجة الحرارة المطلقة (تناسب عكسي) ويسمى قانون الازاحة لفين (Wein Displacement Law) ويعطى على وفق العلاقة الآتية:

$$\lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}$$

إذ إن (λ_m) هي الطول الموجي المقابل لذروة المنحني ويقاس بوحدة المتر (m) ، (T) درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ويقاس بوحدة الكلفن (K).

وقد اجريت محاولات عدة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية لدراسة وتفسير الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الاسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة، إلا أنها جميعها باءت بالفشل، لان الفيزياء الكلاسيكية افترضت أن الطاقة المنبعثة هي مقادير مستمرة.

إن هذا الفشل قد أدى بالعالم ماكس بلانك (Max Planck) عام (1900) إلى أن يقترح (يفترض) بان الجسم الاسود يمكن أن يشع ويمتص طاقة بشكل كمات (quanta) محددة ومستقلة من الطاقة تعرف باسم الفوتونات (photons). وهذا يعني أن الطاقة هي مكماة (quantized)، حيث تعطى طاقة الفوتون (E) بحسب العلاقة:

$$E = hf$$

إذ إن (f) هو تردد الفوتون ، (h) هو ثابت بلانك وقيمته (6.63×10^{-34} J.s).

مثال (1) جد الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من جسم الانسان عندما تكون درجة حرارة جلده (35^0C). افترض أن جسم الانسان يشع كجسم اسود.

الحل لدينا العلاقة:

$$\lambda_m T = 2.898\times10^{-3}$$

$$\therefore \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{T}$$

$$T = 35 + 273 = 308(K)$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\therefore \lambda_m = \frac{2.898\times10^{-3}}{308}$$

$$\therefore \lambda_m = 9.409\times10^{-6}(m) = 9.409(\mu m)$$

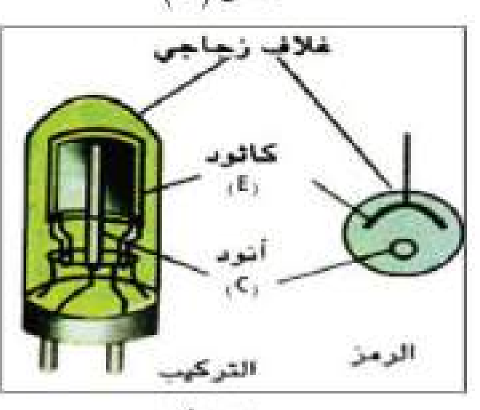
وهو الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من جسم الانسان.

3-6 الظاهرة الكهروضوئية Photoelectric Effect

في النصف الأخير من القرن التاسع عشر، أوضحت التجارب أن الضوء الساقط (ذو تردد معين مؤثر) على سطوح معادن معينة يسبب انبعاث الالكترونات من تلك السطوح، لاحظ الشكل (3). إن هذه الظاهرة تعرف بالظاهرة الكهروضوئية والالكترونات المنبعثة تسمى بالالكترونات الضوئية (photoelectrons)، إذ إن أول من لاحظ هذه الظاهرة عملياً هو العالم هيرتز (Hertz) وذلك في عام (1887).

شكل (3)

ولتوضيح الظاهرة الكهروضوئية نستعمل الخلية الكهروضوئية (photocell)، لاحظ شكل (4). وهي أنبوبة مفرغة من الهواء لها نافذة شفافة (أو غلاف) من الزجاج أو الكوارتز (لكي تمرر الاشعة فوق البنفسجية زيادة على الضوء المرئي) وتحتوي على لوح معدني (E) يسمى باللوح الباعث للالكترونات او المهبط (كاثود)، الذي يتصل بالقطب السالب



شكل (4)

لمصدر فولطية مستمرة (يمكن تغيير جهده) ولوح معدني آخر (C) يسمى باللوح الجامع او المصعد (انود) الذي يتسلم الالكترونات الضوئية المنبعثة ويتصل بالقطب الموجب لمصدر الفولطية.

لدراسة الظاهرة الكهروضوئية عملياً نجري النشاط الآتي:

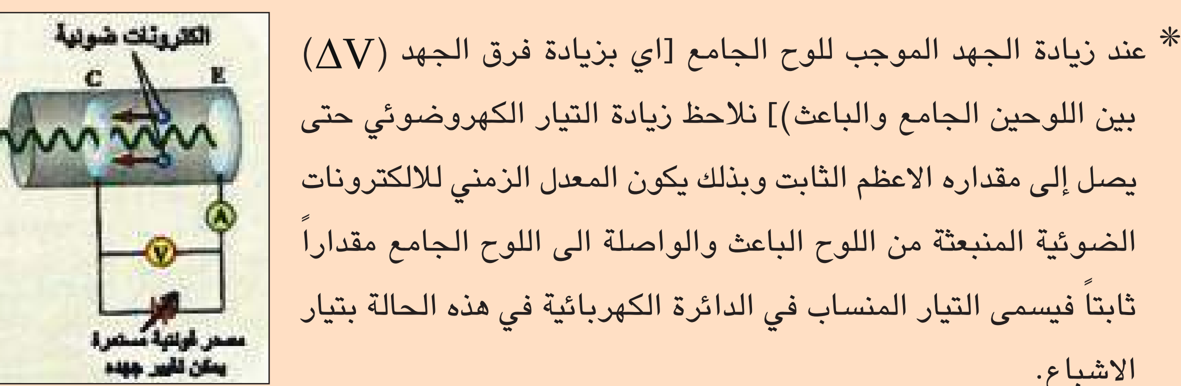
نشاط

تجربة لدراسة الظاهرة الكهروضوئية

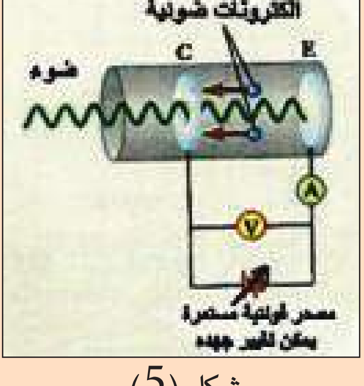
أدوات النشاط: خلية كهروضوئية، فولطميتر (V)، اميتر (A)، مصدر فولطية مستمرة يمكن تغيير جهده، اسلاك توصيل، مصدر ضوئي.

الخطوات:

* نربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (5).
* عند وضع الانبوبة بالظلام، نلاحظ أن قراءة الاميتر تساوي صفراً، أي لا يمر تيار في الدائرة الكهربائية.
* عند إضاءة اللوح الباعث للالكترونات بضوء ذي تردد مؤثر نلاحظ انحراف مؤشر الاميتر دلالة على مرور تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية. إن هذا التيار يظهر نتيجة انبعاث الالكترونات الضوئية من اللوح الباعث (السالب) ليستقبلها اللوح الجامع (الموجب) فينساب التيار الكهروضوئي في الدائرة الكهربائية.



* عند زيادة الجهد الموجب للوح الجامع [اي بزيادة فرق الجهد (ΔV) بين اللوحين الجامع والباعث)] نلاحظ زيادة التيار الكهروضوئي حتى يصل إلى مقداره الاعظم الثابت وبذلك يكون المعدل الزمني للالكترونات الضوئية المنبعثة من اللوح الباعث والواصلة الى اللوح الجامع مقداراً ثابتاً فيسمى التيار المنساب في الدائرة الكهربائية في هذه الحالة بتيار الاشباع.



شكل (5)

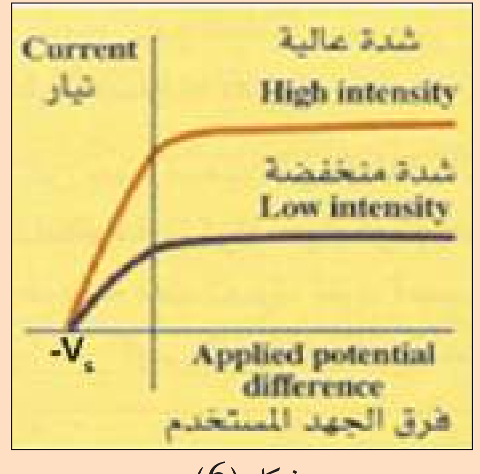
وهنا لعلك تسأل:

أولاً: ماذا يحصل عند زيادة شدة الضوء الساقط (لتردد معين مؤثر)؟

ثانياً: ماذا يحصل في حالة عكس قطبية فولطية المصدر، اي في حالة ان يكون اللوح الباعث موجباً واللوح الجامع سالباً و (ΔV) سالباً؟

ثالثاً: ماذا يحصل عند زيادة سالبية جهد اللوح الجامع تدريجياً؟

وللإجابة على هذه التساؤلات لاحظ الشكل (6).



شكل (6)

أولاً: عند زيادة شدة الضوء الساقط (لتردد معين مؤثر) فاننا نلاحظ زيادة تيار الاشباع، فمثلاً عند مضاعفة شدة الضوء الساقط لتردد معين مؤثر، فان تيار الاشباع يتضاعف.

ثانياً: في حالة عكس قطبية فولطية المصدر أي في حالة أن يكون اللوح الباعث موجباً واللوح الجامع سالباً و (ΔV) سالباً، ففي هذه الحالة يهبط التيار تدريجياً إلى قيم أقل لان معظم الالكترونات الضوئية سوف تتنافر الان مع اللوح الجامع السالب، وتصل فقط الالكترونات الضوئية التي لها طاقة أكبر من القيمة $(e\Delta V)$ الى اللوح الجامع، إذ إن (e) هي شحنة الالكترون.

ثالثاً: عند زيادة سالبية جهد اللوح الجامع تدريجياً فإنه وعند قيمة جهد معين (V_s)، أي عندما $(\Delta V = -V_s)$ فإننا نلاحظ أن تيار الدائرة يساوي صفراً، إن هذا الجهد (V_s)، يسمى جهد القطع او الايقاف. ويمكن الملاحظة بالتجربة أن جهد الايقاف لا يعتمد على شدة الضوء الساقط.

ولما كان جهد الايقاف مقياساً للطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة، $(KE)_{max}$، فإن:

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m v^2_{max} = eV_s$$

حيث (m) هي كتلة الالكترون، (e) هي شحنة الالكترون و (v_{max}) هي الانطلاق الأعظم للالكترونات الضوئية المنبعثة.

وقد أتضح من تجربة الظاهرة الكهروضوئية بعض الحقائق والتي لم يمكن تفسيرها بوساطة الفيزياء الكلاسيكية (النظرية الموجية للضوء) وهي:

1- لا تنبعث الالكترونات الضوئية إذا كان تردد الضوء الساقط اقل من تردد معين يسمى تردد العتبة (f_0)، وهو أقل تردد يولد الانبعاث الكهروضوئي لذلك المعدن، وهو يعد أيضاً خاصية مميزة للمعدن المضاء، إذ إن لكل معدن تردد عتبة خاصاً به.

إن هذه الحقيقة لا تتفق مع النظرية الموجية والتي تتنبأ بان الظاهرة الكهروضوئية تحصل عند جميع الترددات بشرط أن تكون شدة الضوء الساقط عالية.

2- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$، لا تعتمد على شدة الضوء الساقط، ولكن طبقاً للنظرية الموجية فان الضوء ذا الشدة العالية يحمل طاقة اكثر للمعدن في الثانية الواحدة ولذلك فان الالكترونات الضوئية المنبعثة سوف تمتلك طاقة حركية اكبر.



تعلم

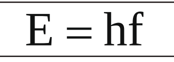
يمكن للمركبات الفضائية ان تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية، اذ تؤدي الاشعة فوق البنفسجية الى شحن المركبات الفضائية بالشحنة الموجبة ويتم تفريغ هذه الشحنة الموجبة عندما تهبط المركبة الفضائية على سطح الارض.



3- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة تزداد بزيادة تردد الضوء الساقط. بينما تتنبأ النظرية الموجية بأنه لا يوجد علاقة بين طاقة الالكترونات الضوئية المنبعثة وتردد الضوء الساقط.

4- تنبعث الالكترونات الضوئية من سطح المعدن آنياً [في أقل من (10^{-9}s) بعد اضاءة السطح]، حتى وان كانت شدة الضوء الساقط قليلة. ولكن حسب النظرية الموجية فأن الالكترونات الضوئية تحتاج بعض الوقت حتى تمتص الضوء الساقط الى ان تكتسب طاقة حركية كافية لكي تهرب من المعدن.

ولعلك تتسائل من هو العالم الذي استطاع ان يقدم تفسيراً ناجحاً للظاهرة الكهروضوئية؟ قدم العالم اينشتين في عام (1905) تفسيراً ناجحاً للظاهرة الكهروضوئية، إذ اعتمد في تفسيره على مبدأ بلانك وهو ان الموجات الكهرومغناطيسية هي مكماة (quantized). واقترح ان الضوء يعد كسيل من الفوتونات وكل فوتون له طاقة (E) تعطى على وفق العلاقة الآتية:

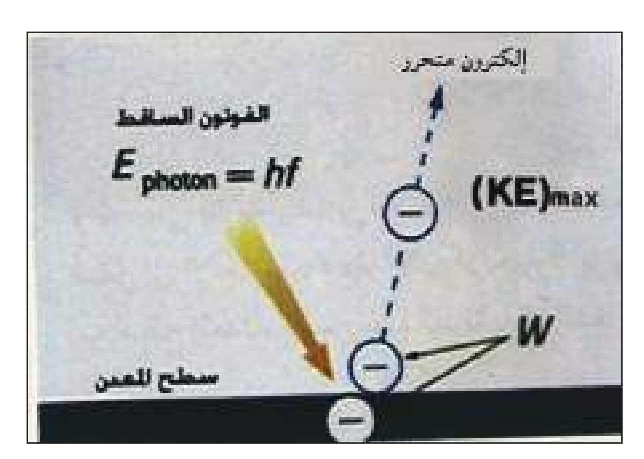


$$E = hf$$

إذ إن (h) هو ثابت بلانك و (f) هو تردد الضوء الساقط (تردد الفوتون)، وإن تردد الفوتون يعطى بحسب العلاقة:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

إذ إن (c) هي سرعة الضوء في الفراغ و (λ) هي طول موجة الضوء. وطبقاً لتفسير اينشتين للظاهرة الكهروضوئية فإن الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$، لاحظ الشكل (7)، تعطى على وفق العلاقة الآتية:



شكل (7)

المعادلة الكهروضوئية لأينشتين

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2}mv^2_{max} = hf - w$$

إذ إن (hf) تمثل طاقة الضوء الساقط و (w) تمثل دالة الشغل للمعدن (work function) وهي أقل طاقة يرتبط بها الالكترون بالمعدن وتعطى بالعلاقة:

$$w = hf_0$$

وقيمتها هي بحدود بضعة (eV) اذ ان ($1eV = 1.6 \times 10^{-19}J$). والجدول (6-1) يبين دالة الشغل لمعادن مختلفة.

جدول (6-1) دالة الشغل لمعادن مختلفة

المعدن	دالة الشغل (eV)
الفضة	4.73
الالمنيوم	4.08
النحاس	4.70
الحديد	4.50
الصوديوم	2.46
الرصاص	4.14
البلاتين	6.35
الخارصين	4.31

وقد يتبادر إلى ذهننا كيف استطاع العالم اينشتين أن يفسر الظاهرة الكهروضوئية والتي لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية ان تفسرها؟ وقد استطاع تفسير ذلك على وفق المعادلة الكهروضوئية المذكورة آنفاً مستنداً إلى نظرية الكم لبلانك وكما يأتي:

1- لا تحصل الظاهرة الكهروضوئية إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد العتبة (f_0)، ولكي تحصل هذه الظاهرة يجب أن تكون طاقة الفوتون الساقط أكبر من أو تساوي دالة الشغل (w)، فالالكترون الضوئي يتحرر او ينبعث بوساطة امتصاص فوتون واحد. فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط لا تحقق هذا الشرط، فإن الالكترونات الضوئية لا تنبعث ولا تتحرر نهائياً من سطح المعدن مهما كانت شدة الضوء الساقط، إن هذه الحقيقة تدعم وجود تردد العتبة. وفي حالة أن تكون طاقة الفوتون الساقط تساوي دالة الشغل للمعدن (او تردد الضوء الساقط يساوي تردد العتبة للمعدن) فإن الالكترونات الضوئية فقط تتحرر من سطح المعدن من غير أن تكتسب طاقة حركية.

2- من العلاقة:

$$(KE)_{max} = hf - w$$

يمكن ملاحظة أن الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ تعتمد فقط على تردد الضوء الساقط ودالة الشغل (او تردد العتبة) للمعدن ولا تعتمد على شدة الضوء الساقط لأن امتصاص فوتون واحد يكون مسؤولاً عن تغير الطاقة الحركية للالكترون.

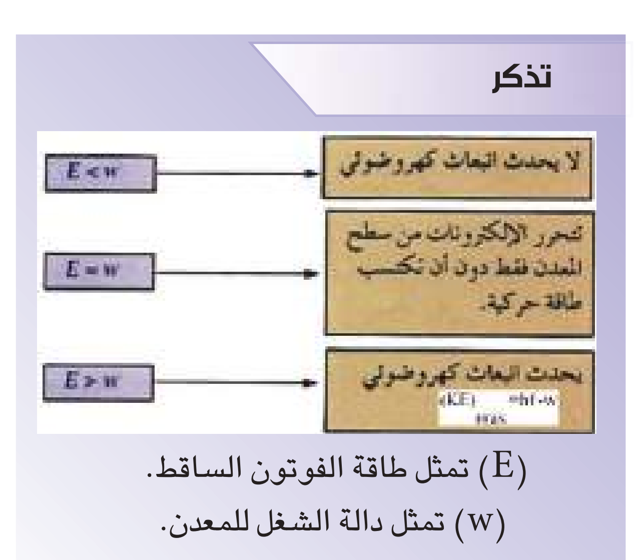
3- بما ان العلاقة بين $(KE)_{max}$ و (f) هي علاقة خطية حسب العلاقة:

$$(KE)_{max} = hf - w$$

إذ يلاحظ من العلاقة المذكورة آنفاً اعلاه بان $(KE)_{max}$ تتناسب خطياً مع تردد الضوء الساقط (f)، وبذلك يمكن الان ان نفهم وبسهولة لماذا $(KE)_{max}$ تزداد بزيادة (f).

4- تنبعث الالكترونات الضوئية من سطح المعدن لحظياً بغض النظر عن شدة الضوء الساقط. ومن الجدير بالذكر ان النتائج العملية والتي اوضحت العلاقة الخطية بين الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة $(KE)_{max}$ وتردد الضوء الساقط (f) موضحة في

تذكر



(E) تمثل طاقة الفوتون الساقط.
(w) تمثل دالة الشغل للمعدن.

فكر

ثلاثة معادن مختلفة (a ، b ، c) اسقط على كل واحد منها ضوء تردده $(0.85\times10^{15}Hz)$ فاذا كان تردد العتبة لكل منهم على الترتيب هو:

a - 1.14×10^{15} (Hz)

b - 0.59×10^{15} (Hz)

c - 1.53×10^{15} (Hz)

لأي من المعادن الثلاثة تحصل الظاهرة الكهروضوئية؟ ولماذا؟

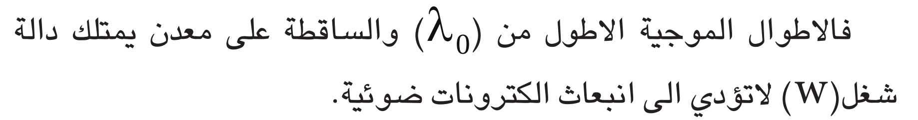
الشكل (8). إن تقاطع الخط المستقيم في الشكل (8) مع الاحداثي السيني (اي عندما $(KE)_{max}=0$) فانه يمثل قيمة تردد العتبة (f_0). فعند ترددات أقل من (f_0) لاتنبعث الكترونات ضوئية مهما كانت شدة الضوء الساقط. كما أن ميل الخط المستقيم فهو يمثل قيمة ثابت بلانك (h). وإذا مد الخط المستقيم وقطع الاحداثي الصادي في نقطة مثل (Z) فان المقطع السالب للاحداثي الصادي فانه يمثل قيمة دالة الشغل للمعدن، لاحظ الشكل (8).

$KE_{(max)}$ ، $(KE)_{max} = hf - w$ ، o ، f_0 ، f ، $-w$ ، z

شكل (8)

كما يمكن تعريف طول موجة العتبة (λ_0) بأنها أطول طول موجة يستطيع تحرير الالكترونات الضوئية من سطح معدن معين وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{hc}{w}$$



فالاطوال الموجية الاطول من (λ_0) والساقطة على معدن يمتلك دالة شغل(W) لاتؤدي الى انبعاث الكترونات ضوئية.



شكل (9)

تطبيقات الظاهرة الكهروضوئية:

يوجد العديد من الاجهزة المستعملة في حياتنا اليومية والتي تعتمد على الظاهرة الكهروضوئية ومن امثلتها الخلية الكهروضوئية والتي بوساطتها يمكننا قياس شدة الضوء وتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية كما في الخلايا الشمسية المستعملة لإضاءة الشوارع مثلاً، لاحظ الشكل (9). كما تستثمر الظاهرة الكهروضوئية في كاميرات التصوير الرقمية، لاحظ الشكل (10)، وكذلك في إظهار تسجيل الموسيقى المصاحبة لصور الافلام المتحركة السينمائية وغيرها من التطبيقات العملية الأخرى.



شكل (10)

مثال (2)

سقط ضوء طوله الموجي ($300nm$) على معدن الصوديوم. فإذا كانت دالة الشغل للصوديوم تساوي ($2.46eV$) جد:

a– الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة الجول (J) اولاً وبوحدة الالكترون– فولط (eV) ثانياً.

b– طول موجة العتبة للصوديوم.

مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$ ، $1(eV)=1.6\times10^{-19}(J)$ ، وسرعة الضوء في الفراغ $(c)=3\times10^{8}(m/s)$

الحل

(a)

لدينا العلاقة:

$$(KE)_{max}=hf-w$$

وكذلك لدينا العلاقة:

$$f=\frac{c}{\lambda}$$

ومن العلاقتين السابقتين نحصل على:

$$(KE)_{max}=\frac{hc}{\lambda}-w$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$(KE)_{max}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{300\times10^{-9}}-2.46\times1.6\times10^{-19}$$

$$(KE)_{max}=6.63\times10^{-19}-3.936\times10^{-19}$$

$$\therefore(KE)_{max}=2.694\times10^{-19}(J)$$

وهي الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة الجول.

$$(KE)_{max}=\frac{2.694\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}=1.684(eV)$$

وهي الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة بوحدة (eV).

(b)

لدينا العلاقة:

$$\lambda_0=\frac{hc}{w}$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\therefore\lambda_0=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2.46\times1.6\times10^{-19}}$$

$$\therefore\lambda_0=5.053\times10^{-7}(m)=505.3(nm)$$

وهي طول موجة العتبة للصوديوم.

4-6 الجسيمات (الدقائق) والموجات Particles and waves

إن الظاهرة الكهروضوئية وظاهرة الاشعاع والامتصاص من الدلائل القاطعة على أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات (فوتونات)، كما أن هناك ظواهر أخرى مثل التداخل والحيود والاستقطاب تبين أن الضوء يسلك سلوك الموجات. وهنا يبرز السؤال الآتي: أي السلوكين هو الصحيح؟ أيسلك الضوء سلوك الجسيمات أم يسلك سلوك الموجات؟

والحقيقة أن الإجابة على هذا السؤال تعتمد على الظاهرة التي هي قيد الدراسة. فان بعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الجسيمات أي إن الضوء يظهر صفة جسيميه والبعض الاخر يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الموجات اي ان الضوء يظهر صفة موجية. فالضوء الذي يمكنه إخراج الالكترونات من المعادن كما في الظاهرة الكهروضوئية، بمعنى ان الضوء يسلك سلوك الجسيمات فان نفس هذا الضوء يمكن ان يحدث حيوداً بمعنى ان الضوء يسلك سلوك الموجات. وعلى هذا الأساس فان النظرة الحديثة لطبيعة الضوء تأخذ السلوك الثنائي (المزدوج)، اي ان طاقة الاشعاع تنتقل بشكل فوتونات يقودها باتجاه سيرها مجال موجي.

ومن هنا يجب التأكيد على انهُ في حالة او ظرف معين يُظهر الضوء أما الصفة الجسيمية او الصفة الموجية ولكن ليس كلاهما في آن واحد، أي إن النظرية الجسيمية للضوء والنظرية الموجية للضوء يكمل بعضها الآخر.

وهنا يبرز السؤال الآتي:

كيف يمكننا رياضياً تفسير السلوك المزدوج للفوتون؟

إن طاقة الفوتون (E) تعطى على وفق العلاقة:

$$E = hf$$

وبحسب معادلة اينشتين في تكافؤ الكتلة (m) مع الطاقة (E) (والتي سوف تدرسها في فصل لاحق) فان الطاقة (E) تعطى على وفق العلاقة:

$$E = mc^2$$

إذ إن (c) هي سرعة الضوء في الفراغ. ومن العلاقتين السابقتين يمكننا الحصول على:

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

تبين لنا العلاقة السابقة بان الفوتون يسلك كما لو كانت له "كتله".

إن زخم الفوتون (p) يعطى بالعلاقة:

$$p = mc$$

كما ان تردد الفوتون (f) يرتبط بالطول الموجي المرافق للفوتون (λ) بالعلاقة:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

وبتعويض العلاقة المذكورة آنفاً في علاقة سلوك الفوتون كما لو كانت له كتلة (m) نحصل على:

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

او

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

أي إن الطول الموجي المرافق للفوتون يتناسب عكسياً مع زخم الفوتون.

كما يمكن البرهنة على أن طاقة الفوتون (E) تعطى بحسب العلاقة:

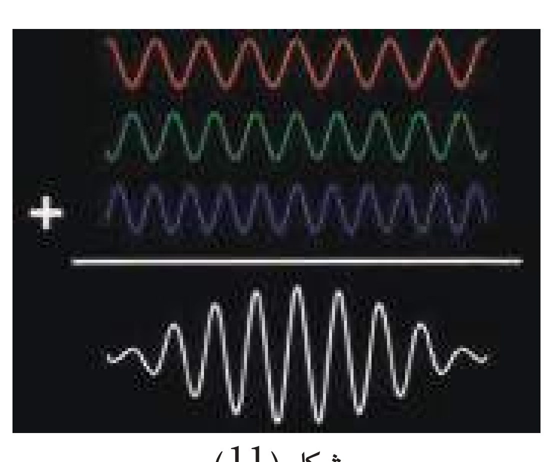
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

5-6 الموجات المادية Matter waves

لاحظنا سابقاً أن الضوء يسلك سلوكاً ثنائياً جسيمي (دقائقي) وموجي والسؤال المطروح الآن: هل أن للجسيمات سلوكاً ثنائياً ايضاً؟ والاجابة على هذا السؤال جاءت على يد العالم لويس دي برولي (Louis deBroglie) ففي عام (1923) اقترح دي برولي فكرة الطبيعة الثنائية للجسيم (الجسيمية - الموجية). إذ افترض دي برولي الفرضية الآتية:

(في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمات المادية)

إن هذه الفكرة التي جاء بها العالم دي برولي تعد فكرة هائلة وغير مسبوقة ولم يكن في ذلك الوقت اي دليل أوتأكيد عملي لها. فطبقاً لفرضية دي برولي فإن الاجسام المادية مثل الالكترونات هي مثل الضوء لها الطبيعة الازدواجية او الثنائية اي تسلك سلوكاً جسيمياً وسلوكاً موجياً. وبذلك يكون الالكترون مصحوباً بموجة، هذه الموجة هي ليست موجة ميكانيكية او موجة كهرومغناطيسية. ولكن ماهو نوع الموجات المرافقة (المصاحبة) لحركة جسيم مثل الالكترون؟ ان الموجات المرافقة لحركة الجسيم هي موجات من نوع آخر جديد أطلق عليها اسم الموجات المادية، إذ يمثل الجسيم برزمة موجية (wave packet)، اي موجة ذات مدى محدود في الفضاء.ويمكن الحصول على الرزمة الموجية من إضافة موجات ذوات طول موجي مختلف قليلاً، لاحظ الشكل (11).



شكل (11)

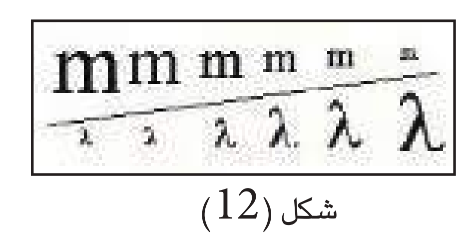
فقد افترض دي بروليي أن الطول الموجي للموجة المادية (λ) يرتبط بزخم الجسيم (p)، وكما هو في حالة الفوتون، بحسب العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

إذ إن (h) هو ثابت بلانك. فإذا كان جسيم ما كتلته (m) يتحرك بانطلاق مقداره (v) فان طول موجة دي بروليي المرافقة للجسيم تعطى بحسب العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

وعند النظر بدقة الى العلاقة المذكورة آنفاً تتضح لنا الخاصية الازدواجية للمادة إذ إن الجهة اليمنى من العلاقة تحتوي مفهوم الجسيم [الكتله (m) أو الزخم (mv)] والجهة اليسرى من المعادلة تحتوي مفهوم الموجة [الطول الموجي (λ)]. وفي الواقع أن الطول الموجي المرافق للاجسام الاعتيادية في حياتنا اليومية، اي في العالم البصري (المرئي) (macroscopic world) مثل كرة القدم المتحركة، السيارة المتحركة...الخ يكون من الصغر بحيث ان سلوكها الموجي مثل التداخل والحيود لا يمكن ملاحظته، لانه زيادة على صغر قيمة ثابت بلانك فان كتلتها كبيرة نسبياً (أو زخمها كبير نسبياً) وبذلك فان طول موجة دي بروليي المرافقة لها يكون صغير جداً، لان العلاقة عكسية، لاحظ شكل (12)، إذ إن $\lambda = \frac{h}{mv}$ ما يجعل الخواص الموجية للاجسام الكبيرة نسبياً مهملة. لكنها تتضح عند دراسة الخصائص الموجية بالنسبة للجسيمات الذرية والنووية (ذوات الكتل الصغيرة جداً والزخم الصغير نسبياً) اي في العالم المجهري (غير المرئي) (microscopic world) مثل الالكترونات والبروتونات والنيوترونات، اذ ان طول موجة دي بروليي المرافقة لهذه الجسيمات يمكن

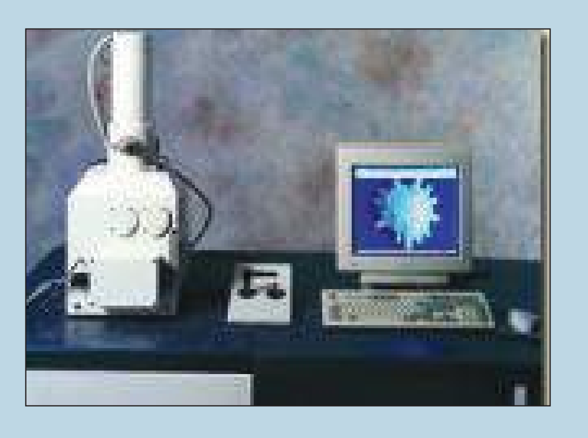


شكل (12)

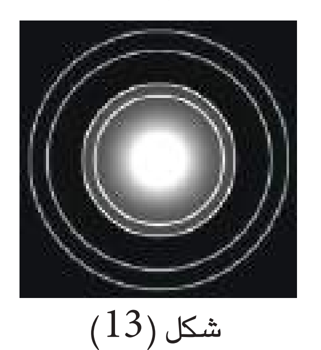


تعلم

يعد المجهر الالكتروني (The electron microscope) من الاجهزة العملية والذي يعتمد على الخواص الموجية للالكترونات ويتميز عن المجهر الضوئي الاعتيادي بقدرة تحليل اكبر حيث يمكنه ان يميز التفاصيل والتي تقل بحوالي (1000) مرة عن تلك التفاصيل التي تميز بوساطة المجهر الضوئي وذلك لان الطول الموجي للالكترون المستعمل هو اصغر بكثير من الطول الموجي للضوء الاعتيادي.



قياسها ودراستها. والشكل (13) يوضح أنموذجاً للسلوك الموجي للالكترونات (حيود الالكترونات).


شكل (13)

ومما يجدر ذكره انه وكما هو الحال في الضوء فان السلوكين الجسيمي والموجي للاجسام المتحركة لا يمكن ملاحظته في الوقت نفسه.

ومن المفيد أن نبين هنا بان معادلة دي بروي تنطبق على جميع الاجسام في الكون من صغيرها مثل الالكترون الى كبيرها مثل الكواكب.

مثال (3) جد طول موجة دي بروي المرافقة لكرة كتلتها (0.221kg) تتحرك بانطلاق مقداره $(3m/s)$ مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$.

الحل على وفق العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\lambda = \frac{6.63\times10^{-34}}{0.221\times3} = 10^{-33}(m)$$

وهو طول موجة دي بروي المرافق للكرة.

مثال (4)

جد طول موجة دي بروي المرافقة لالكترون يتحرك بانطلاق مقداره $(6\times10^{6}m/s)$ مع العلم بان كتلة الالكترون تساوي $(9.11\times10^{-31}kg)$ وثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}(J.s)$.

الحل

على وفق العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\lambda = \frac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times6\times10^{6}}$$

$$\therefore \lambda = 0.121\times10^{-9}(m)$$

وهو طول موجة دي بروي المرافق للالكترون.

6-6 مدخل الى مفهوم ميكانيك الكم ودالة الموجة

An access to the understanding of quantum mechanics and wave function

عند استعمالك الحاسوب والكاميرا الرقمية وحاسبتك الشخصية هل كنت تعلم بان جميع هذه الاجهزة (ويوجد غيرها الكثير) تعمل على وفق قوانين ميكانيك يسمى الميكانيك الكمي، فماذا يقصد بالميكانيك الكمي؟ بشكل عام يقصد بالميكانيك الكمي "انه ذلك الفرع من الفيزياء والذي هو مخصص (مكرس) لدراسة حركة الاشياء (objects) والتي تأتي بحزم صغيرة جداً، أوكمات".

والحقيقة ان الكميات المتضمنة والتي يقوم بدراستها الميكانيك الكمي هي الاحتمالات (probabilities) بدلاً من التأكيد (asserting) الذي نجده في الميكانيك الكلاسيكي.

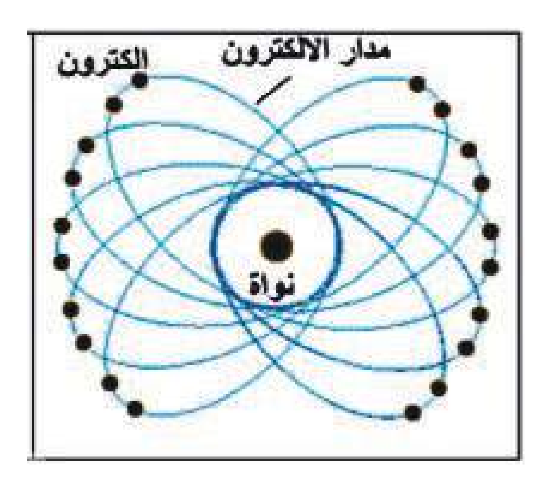
فعلى سبيل المثال فان نصف قطر بور لذرة الهيدروجين يساوي (0.0529nm) حسب الميكانيك الكلاسيكي في حين ان هذه القيمة وحسب الميكانيك الكمي تمثل نصف القطر الاكثر احتمالاً (ارجحية). اذ لو قمنا بتجارب مناسبة لوجدنا ان نصف قطر بور هو اكبر او اقل من هذه القيمة ولكن القيمة الاكثر احتمالاً التي سنجدهاسوف تكون مساوية الى (0.0529nm). ثم فان شكل الذرة حسب الميكانيك الكلاسيكي، لاحظ الشكل (14)، يختلف عن شكل الذرة حسب الميكانيك الكمي، لاحظ الشكل (15).

ومن المهم ان نوضح هنا بأن الميكانيك الكلاسيكي ليس الا صيغة تقريبية للميكانيك الكمي.

ولكن ما الكمية التي يهتم بدراستها الميكانيك الكمي؟ ان هذه الكمية تسمى دالة الموجة (wave function)والتي ستتعرف عليها الآن.

هل تعلم

تعد معادلة شرودنكر (Schrodinger equation) المعادلة الاساس في الميكانيك الكمي، مثل ما تعد معادلة قانون نيوتن الثاني في الحركة المعادلة الاساس في الميكانيك الكلاسيكي.



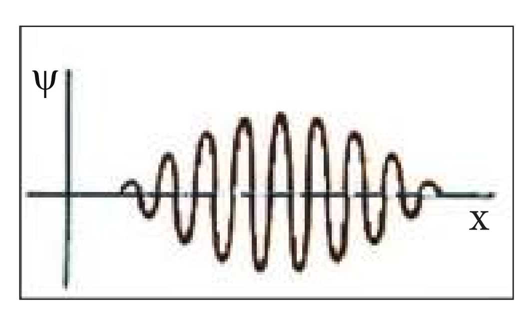
شكل (14) شكل ذرة حسب الميكانيك الكلاسيكي



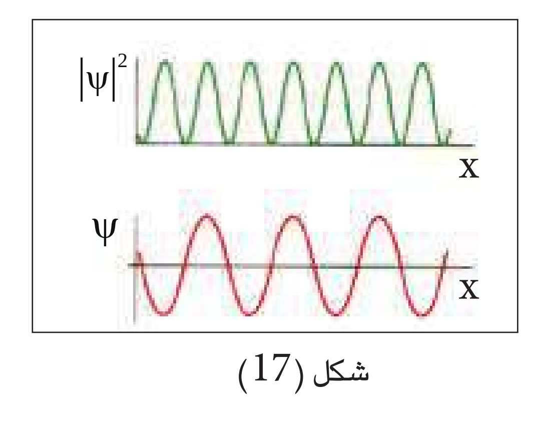
شكل (15) شكل ذرة حسب الميكانيك الكمي

دالة الموجة:

من المعروف ان الكمية المتغيرة دورياً في الموجات المائية هي ارتفاع سطح الماء وفي الموجات الصوتية هو ضغطها وفي الموجات الضوئية هي المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي. ولكن ما الكمية المتغيرة في حالة الموجات المادية؟ الكمية التي تغيراتها تشكل الموجات المادية تسمى دالة الموجة ويرمز لها عادة بالرمز (ψ) (يقرأ بساي psi)، والشكل (16) يبين احد الامثلة لتغير دالة الموجة (ψ) مع الاحداثي السيني، ودالة الموجة هي صيغة رياضية إذ إن قيمة دالة الموجة المرافقة لجسيم متحرك في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين تتعلق باحتمالية (ارجحية) ايجاد الجسيم في ذلك المكان والزمان. حيث ان كثافة الاحتمالية (probability density)، اي الاحتمالية لوحدة الحجم، لايجاد الجسيم الذي يوصف بدالة الموجة (ψ) في نقطة معينة في الفضاء ولزمن معين تتناسب تناسباً طردياً مع قيمة $|\psi|^2$ في ذلك المكان والزمان المعينين، والشكل (17) يبين احد الامثلة لدالة الموجة (ψ) وكثافة الاحتمالية $|\psi|^2$ لجسيم.



شكل (16)



شكل (17)

ان قيمة كبيرة الى $|\psi|^2$ تعني احتمالية كبيرة لوجود الجسيم في المكان والزمان المعينين، في حين قيمة صغيرة الى $|\psi|^2$ تعني احتمالية صغيرة لوجود الجسيم في المكان والزمان المعينين. وطالما ان قيمة $|\psi|^2$ لا تساوي صفراً في مكان ما، فان هناك احتمال معين لوجود الجسيم في ذلك الموقع، ان هذا التفسير لقيمة $|\psi|^2$ كان قد قدم لاول مرة من قبل العالم بورن وذلك في عام (1927).

7-6 مبدأ اللادقة لهايزنبرك Heisenberg Uncertainty Principle

إذا أردت قياس موضع وانطلاق جسيم في أية لحظة فإنك ستواجه دائماً بلادقة عملية في قياساتك. طبقاً للميكانيك الكلاسيكي ليس هناك حائلاً يمنع من تحسين جهاز القياس أو الطرائق التجريبية المستعملة لأعلى درجة ممكنة. أي من الممكن، حسب المبدأ، عمل مثل هذه القياسات بدرجة صغيرة من اللادقة. ولكن من جهة أخرى فأن نظرية الكم تتنبأ بوجود مثل هذا الحائل. ففي عام (1927) قدم العالم هايزنبرك (Heisenberg)، هذه الفكرة والتي تعرف بمبدأ اللادقة (أو

هل تعلم

هناك صيغة أخرى لمبدأ اللادقة والتي تربط بين اللادقة في طاقة الجسيم (ΔE) واللادقة في الزمن المستغرق لقياس الطاقة (Δt) والتي يعبر عنها بالعلاقة:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

اللايقين) والذي ينص على: "من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموضع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم" . فإذا كانت اللادقة في قياس موضع الجسيم هي (Δx) وكانت اللادقة في قياس زخم الجسيم هي (Δp) فأن مبدأ اللادقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

إذ إن (h) يمثل ثابت بلانك.

في دراستنا الحالية فإن المقصود بـ (Δx) هو اللادقة بالموضع باتجاه الإحداثي السيني والمقصود بـ (Δp) هي اللادقة في مركبة الزخم الخطي باتجاه الإحداثي السيني. وكما يلاحظ من مبدأ اللادقة فأنه كلما كانت قيمة (Δx) صغيرة كانت قيمة (Δp) كبيرة والعكس صحيح، أي إنه كلما كانت قيمة (Δx) كبيرة تكون قيمة (Δp) صغيرة. فكلما أرتفعت دقة قياس إحدى هاتين الكميتين كلما قلّ ما نعرفه عن الكمية الأخرى، لاحظ الشكل (18).

كما يمكن ان تعد اللادقة (Δx) على انه الخطأ في موضع الجسيم واللادقة (Δp) على أنه الخطأ في زخم الجسيم.

وكما هو معروف فإن مقدار زخم الجسيم (p) يعطى بالعلاقة:

$$p = mv$$

إذ إن (m) هي كتلة الجسيم و (v) هو إنطلاق الجسيم. وإن اللادقة في زخم الجسيم (Δp) تعطى بالعلاقة:

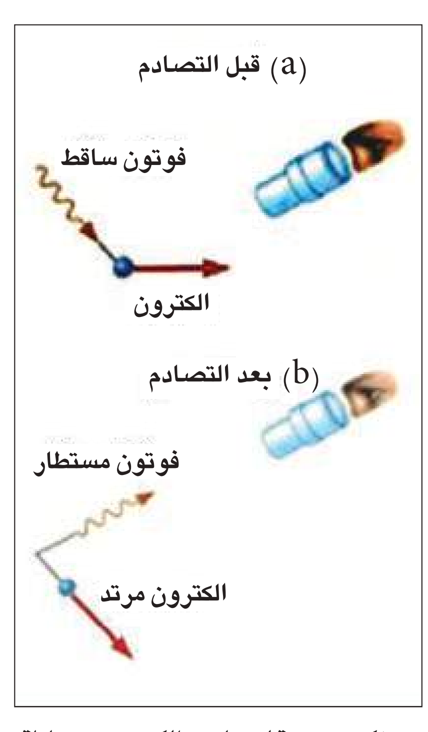
$$\Delta p = m\Delta v$$

إذ إن (Δv) هي اللادقة في إنطلاق الجسيم (أو الخطأ في إنطلاق الجسيم).

فمتى يمكننا الحصول على أقل (أدنى) لادقة لإحدى الكميتين (Δx) أو (Δp) في علاقة مبدأ اللادقة ؟

والجواب يمكننا ذلك عن طريق جعل حاصل ضرب هاتين الكميتين مساوياً لـ $(\frac{h}{4\pi})$ أي إن:

$$\Delta x \Delta p = \frac{h}{4\pi}$$



فكرة تجربة لمشاهدة الكترون بوساطة مجهر ضوئي قوي.
(a) يتحرك الالكترون باتجاه اليمين قبل التصادم مع الفوتون.
(b) يرتد الالكترون (يتغير زخمه) نتيجة التصادم مع الفوتون.

شكل (18)

ومن الجدير بالذكر أن مبدأ اللادقة والذي يضع حدوداً لدقة قياس موضع وزخم جسيم آنياً والتي هي ليست حدوداً ناجمة بسبب الأجهزة المستعملة أو طرائق القياس، فإن هذه الحدود حدوداً أساسية تفرض من الطبيعة، ولايوجد سبيل للتغلب عليها. وأخيراً لابد لنا أن نبين أنه وبسبب القيمة الصغيرة جداً لثابت بلانك فإن هذا يفسر عدم ملاحظتنا لمبدأ اللادقة في حياتنا ومشاهداتنا اليومية الاعتيادية أي في العالم البصري.

مثال (5)

إذا كانت اللادقة في زخم كرة تساوي $(2\times10^{-3}\,kg.\frac{m}{s})$. جد اللادقة في موضع الكرة. مع العلم بأن ثابت بلانك يساوي $6.63\times10^{-34}\,(J.s)$.

الحل

على وفق العلاقة التالية:

$$\Delta x\Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\therefore \Delta x \geq \frac{h}{4\pi\Delta p}$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\Delta x \geq \frac{6.63\times10^{-34}}{4\times3.14\times2\times10^{-3}}$$

$$\therefore \Delta x \geq 2.639\times10^{-32}\,(m)$$

وهي اللادقة في موضع الكرة.

وهذه القيمة هي صغيرة جداً وبالحقيقة لا يمكن قياسها عملياً.

مثال (6)

قيس انطلاق الكترون فوجد بأنه يساوي $(6\times10^{3}\,m/s)$، فإذا كان الخطأ في إنطلاقه يساوي (0.003%) من إنطلاقه الأصلي، جد أقل لادقة في موضع هذا الالكترون. مع العلم بأن كتلة الإلكترون تساوي $(9.11\times10^{-31}kg)$ وثابت بلانك يساوي $(J.s)\ 6.63\times10^{-34}$.

الحل

إن أقل لادقة تعطى بالعلاقة:

$$\Delta x\Delta p=\frac{h}{4\pi}$$

$$\therefore\ \Delta x=\frac{h}{4\pi\Delta p}\ ...(1)$$

كما أن الخطأ (أو اللادقة) في الزخم يعطى بالعلاقة:

$$\Delta p=m\Delta v.....(2)$$

ومن منطوق السؤال فإن (Δv) تساوي:

$$\Delta v=\frac{0.003}{100}\times6\times10^{3}$$

$$\therefore\ \Delta v=0.18(m/s)$$

وبالتعويض في العلاقة (2) نحصل على:

$$\Delta p=9.11\times10^{-31}\times0.18$$

$$\therefore\ \Delta p=1.64\times10^{-31}(kg.\frac{m}{s})$$

وبالتعويض في العلاقة (1) نحصل على :

$$\Delta x=\frac{6.63\times10^{-34}}{4\times3.14\times1.64\times10^{-31}}$$

$$\therefore\ \Delta x=3.219\times10^{-4}(m)$$

وهي أقل لا دقة في موضع الالكترون.

مثال (7)

اذا كانت اللادقة في زخم الكترون تساوي $(3.5\times10^{-24}\,kg\,\frac{m}{s})$ ، جد اللادقة في موضع الالكترون، مع العلم بان ثابت بلانك يساوي $(6.63\times10^{-34}\ J.s)$

الحل

على وفق العلاقة التالية:

$$\Delta x\ \ \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\therefore \Delta x \geq \frac{h}{4\pi\ \Delta p}$$

وبالتعويض في العلاقة المذكورة آنفاً نحصل على:

$$\Delta x\ \geq \frac{6.63\times10^{-34}}{4\times3.14\times3.5\times10^{-24}}$$

$$\therefore \Delta x\ \geq 1.508\times10^{-11}(m)$$

وهي اللادقة في موضع الالكترون.

أسئلة الفصل السادس ؟

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1– عند ارتفاع درجة الحرارة المطلقة فإن ذروة التوزيع الموجي للاشعاع المنبعث من الجسم الأسود تنزاح نحو:

a – الطول الموجي الاطول.　　b – الطول الموجي الاقصر.

c – التردد الاقصر.　　d – ولا واحدة منها.

2 – العبارة (في كل نظام ميكانيكي لابد من وجود موجات ترافق (تصاحب) حركة الجسيمات المادية) هي تعبير عن:

a – مبدأ اللادقة لهايزنبرك.　　b – اقتراح بلانك.

c – قانون لينز.　　d – فرضية دي برولي.

3 – يمكن فهم الظاهرة الكهروضوئية على أساس:

a – النظرية الكهرومغناطيسية.　　b– تداخل الموجات الضوئية.

c – حيود الموجات الضوئية.　　d– ولا واحدة منها.

4 – إحدى الظواهر التالية تعد أحد الأدلة التي تؤكد أن للضوء سلوكاً جسيمياً :

a – الحيود.　　b – الظاهرة الكهروضوئية.

c – الإستقطاب.　　d – التداخل.

5– افترض أنه قيس موضع جسيم بدقة تامة، أي أن $(\Delta x = 0)$، فإن أقل لادقة في زخم هذا الجسيم تساوي:

a – $\frac{h}{4\pi}$.　　b – $\frac{h}{2\pi}$.

c – ما لا نهاية.　　d – صفر.

إذ إن (h) هو ثابت بلانك.

6 – إذا كان طول موجة دي برولي المرافقة لجسيم كتلته (m) هو (λ). فإن الطاقة الحركية للجسيم تساوي:

a – $\frac{2mh^2}{\lambda^2}$.　　b – $\frac{\lambda^2}{2mh^2}$.

c – $\frac{h}{2m\lambda}$.　　d – $\frac{h^2}{2m\lambda^2}$.

إذ إن (h) هو ثابت بلانك.

7- عند مضاعفة شدة الضوء الساقط بتردد معين مؤثر في سطح معدن معين يتضاعف مقدار:

a- الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية المنبعثة. b- جهد الايقاف.

c- زخم الفوتون. d- تيار الاشباع .

8- كثافة الاحتمالية لايجاد الجسيم في نقطة ولحظة معينتين تتناسب :

a- طرديا مع $|\psi|^2$. b- عكسيا مع $|\psi|^2$.

c- طرديا مع $|\psi|$. d- عكسيا مع $|\psi|$.

[إذ إن (ψ) تمثل دالة الموجة للجسيم].

9- إذا كان طول موجة دي برولي المرافقة لالكترون كتلته (m) يتحرك بانطلاق مقداره (v) يساوي (λ). فاذا انخفض انطلاقه الى ($\frac{v}{2}$)، فإن طول موجة دي برولي المرافقة له تصير:

a- 4λ b- 2λ

c- $\frac{\lambda}{4}$ d- $\frac{\lambda}{2}$

10- العبارة (من المستحيل أن نقيس آنياً (في الوقت نفسه) الموضع بالضبط وكذلك الزخم الخطي بالضبط لجسيم) هي تعبير عن:

a- قانون فارادي. b- قانون الازاحة لفين.

c - قانون ستيفان - بولتزمان. d- مبدأ اللادقة لهايزنبرك.

11- الموجات المرافقة لحركة جسيم مثل الالكترون هي:

a - موجات ميكانيكية طولية. b- موجات ميكانيكية مستعرضة.

c - موجات كهرومغناطيسية. d- موجات مادية.

س2 ماذا يقصد بالجسم الاسود وكيف يمكننا تمثيله عملياً؟

س3 لماذا فشلت المحاولات العديدة لدراسة وتفسير الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الاسود كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة معينة وفقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية ؟

س4 ما اقتراح العالم بلانك والمتعلق باشعاع وامتصاص الطاقة بالنسبة للجسم الاسود؟

س5 ما المقصود بكل مما يأتي:

الميكانيك الكمي، تردد العتبة لمعدن، دالة الشغل لمعدن.

س6 علام تدل :

a- قيمة كبيرة الى $|\psi|^2$ لجسيم في مكان وزمان معينين.

b- قيمة صغيرة الى $|\psi|^2$ لجسيم في مكان وزمان معينين.

[إذ إن (ψ) تمثل دالة الموجة للجسيم].

س7 علل: عادة يفضل استعمال خلية كهروضوئية نافذتها من الكوارتز بدلاً من الزجاج في تجربة الظاهرة الكهروضوئية.

س8 أيسلك الضوء سلوك الجسيمات أم يسلك سلوك الموجات ؟

س9 ما النظرة الحديثة لطبيعة الضوء؟

س10 لا يمكن ملاحظة الطبيعة الموجية للاجسام الاعتيادية المتحركة في حياتنا اليومية في العالم البصري، مثل سيارة متحركة، لماذا؟

س11 سقط ضوء طاقته تساوي ($5eV$) على معدن الالمنيوم فانبعثت الكترونات ضوئية. وعند سقوط الضوء نفسه على معدن البلاتين لم تنبعث الكترونات ضوئية. فسر ذلك إذا علمت أن دالة الشغل لمعدن الألمنيوم تساوي ($4.08eV$) ودالة الشغل لمعدن البلاتين تساوي ($6.35eV$).

س12 ما الكمية التي يهتم بدراستها الميكانيك الكمي، وماذا يقصد بها؟

س13 فسر عدم ملاحظتنا لمبدأ اللادقة في حياتنا ومشاهدتنا اليومية الاعتيادية في العالم البصري، مثلا لكرة قدم متحركة؟

س14 عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على القرص المعدني لكشاف كهربائي مشحون بشحنة سالبة فإننا نلاحظ انطباق ورقتيه اولاً، وباستمرار سقوط هذه الاشعة على القرص المعدني نلاحظ انفراج ورقتيه مرة اخرى، بين سبب ذلك إذا علمت أن طاقة الاشعة فوق البنفسجية الساقطة هي أكبر من دالة شغل المعدن المصنوع منه القرص.

مسائل الفصل السادس

استفد:

ثابت بلانك = $6.63\times10^{-34}(J.s)$

كتلة الالكترون = $9.11\times10^{-31}(kg)$

شحنة الالكترون = $1.6\times10^{-19}(C)$

$1(eV)=1.6\times10^{-19}(J)$

سرعة الضوء في الفراغ $(c) = 3\times10^{8}(m/s)$

س1 إذا علمت أن الطول الموجي المقابل لذروة الاشعاع المنبعث من نجم بعيد تساوي $(480nm)$، فما درجة حرارة سطحه؟ اعتبر النجم يشع كجسم اسود.

س2 افترض أن ثابت بلانك أصبحت قيمته تساوي $(66J.s)$، كم سيكون طول موجة دي برولي المرافقة لشخص كتلته $(80kg)$ ويجري بانطلاق مقداره $(1.1m/s)$؟

س3 فوتون طوله الموجي $(3nm)$. احسب مقدار زخمه؟

س4 سقط ضوء طول موجته تساوي $(300nm)$ على سطح معدن، فإذا كان طول موجة العتبة لهذا المعدن يساوي $(500nm)$. جد جهد القطع اللازم لايقاف الالكترونات الضوئية المنبعثة ذات الطاقة الحركية العظمى؟

س5 يتوقف تحرير الالكترونات الضوئية من سطح مادة عندما يزيد طول موجة الضوء الساقط عليه عن $(600nm)$ فإذا أضيء سطح المعدن نفسه بضوء طول موجته $(300nm)$ فما الطاقة الحركية العظمى التي تنبعث بها الالكترونات الضوئية من سطح المعدن مقدرة بوحدة الجول (J) اولاً ووحدة الالكترون – فولط (eV) ثانياً؟

س6 سقط ضوء طول موجته يساوي $(10^{-7}m)$ على سطح مادة دالة شغله تساوي $(1.67\times10^{-19}J)$ فانبعثت الكترونات ضوئية من السطح، جد:

a – الانطلاق الاعظم للالكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المعدن.

b– طول موجة دي برولي المرافقة للالكترونات الضوئية المنبعثة ذوات الانطلاق الاعظم.

س7 سقط ضوء تردده $(0.6\times10^{15}\,Hz)$ على سطح معدن فوجد أن جهد الايقاف للالكترونات الضوئية المنبعثة ذات الطاقة الحركية العظمى يساوي $(0.18\,V)$، وعندما سقط ضوء تردده $(1.6\times10^{15}\,Hz)$ على نفس سطح المعدن وجد أن جهد الايقاف يساوي $(4.324V)$. جد قيمة ثابت بلانك.

س8 جد طول موجة دي برولي المرافقة لألكترون تم تعجيله خلال فرق جهد مقداره $(100V)$؟

س9 يتحرك الكترون بانطلاق مقداره $(663m/s)$، جد:

a– طول موجة دي برولي المرافقة للالكترون.

b–أقل خطأ في موضع الالكترون إذا كان الخطأ في انطلاقه يساوي (0.05%) من انطلاقه الأصلي.

س10 بروتون طاقته الحركية تساوي $(1.6\times10^{-13}\,J)$. إذا كانت اللادقة في زخمه تساوي (5%) من زخمه الاصلي، فما هي أقل لادقة في موضعه؟ على فرض أن كتلة البروتون تساوي $(1.67\times10^{-27}\,kg)$.

س11 جد انطلاق الكترون والذي يجعل طول موجة دي برولي المرافقة له مساوية إلى طول موجة أشعة سينية ترددها يساوي $(3.25\times10^{17}\,Hz)$.

س12 افترض أن اللادقة في موضع جسيم كتلته (m) وانطلاقه (v) تساوي طول موجة دي برولي المرافقة له، برهن على أن:

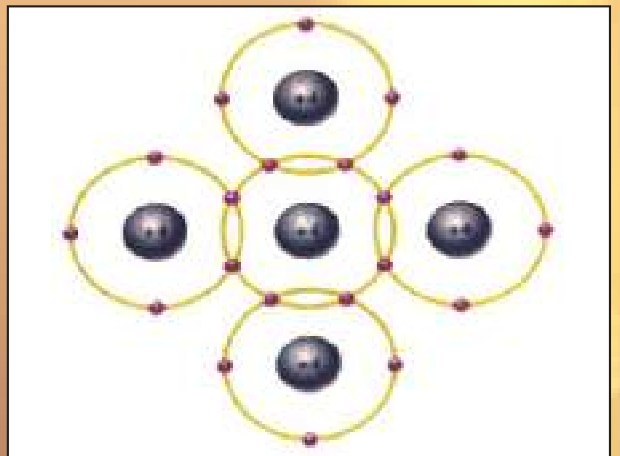
$$\frac{\Delta v}{v}\geq\frac{1}{4\pi}$$

إذ ان (Δv) هي اللادقة في انطلاق الجسيم.

الفصل السابع 7

الكترونيات الحالة الصلبة
Solid-State Electronics







مفردات الفصل:

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

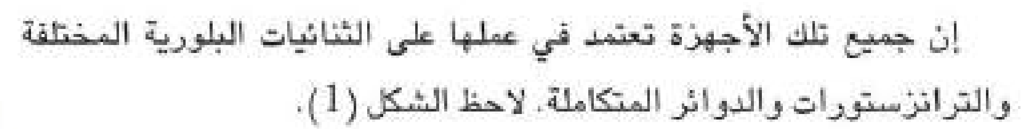
- يوضح مفهوم المدارات الالكترونية ومستويات الطاقة.
- يذكر مفهوم غلاف التكافؤ والكترونات التكافؤ.
- يقارن بين الموصلات واشباه الموصلات.
- يوضح مفهوم حزم الطاقة في المواد الصلبة.
- يتعرف أشباه الموصلات النقية.
- يقارن بين تيار الالكترونات والفجوات.
- يوضح أشباه الموصلات المطعمة (غير النقية).
- يذكر الثنائي Pn
- يعرف مفهوم فولطية الانحياز للثنائي.
- يعدد بعض انواع الثنائيات.
- يعرف مفهوم الترانستور.
- يعدد بعض استعمالات الترانستور.
- يوضح مفهوم الدوائر المتكاملة.

المصطلحات العلمية	
Energy Levels	مستويات الطاقة
Conductors	الموصلات
Insulators	العوازل
Semiconductors	أشباه الموصلات
Energy Bands	حزم الطاقة
Conduction Band	حزمة التوصيل
Valence Band	حزمة التكافؤ
Forbidden Energy Gap	ثغرة الطاقة المحظورة
Covalent Bond	الآصرة التساهمية
Valence Electron	الكترون التكافؤ
Donor Atom	الذرة المانحة
Acceptor Atom	الذرة القابلة
Electron-Hole Pair	الزوج الكترون- فجوة
Doping	التشويب
Depletion Region	منطقة الاستنزاف
pn diode	الثنائي
Junction	المفرق (الملتقى)
Forward Bias	الانحياز الامامي
Reverse Bias	الانحياز العكسي
rectifier	المقوّم
Light-Emitting Diode	الثنائي الباعث للضوء
The Photodiode	الثنائي الضوئي
Transistor	الترانزستور
Integrated circuits	الدوائر المتكاملة

1-7 مقدمة



دخل علم الالكترونيات حيّز التطبيق في مجالات العلوم كافة منذ عشرات السنين وأخذ يتطور وبسرعة كبيرة، فصُنِّعت الكثير من الأجهزة الالكترونية من أمثلتها الراديو والتلفاز، مكبرات الصوت ، مجهزات القدرة الكهربائية، الكاشف الالكتروني ، أجهزة تضمين الإشارات الكهربائية، الفولطميتر الالكتروني ، راسم الاشعة الكاثودية ، أجهزة البث والتسلم، الرادار والعديد من الاجهزة الالكترونية التي تستعمل في ميادين الطب والهندسة والفضاء والفلك والكيمياء وعلوم الحياة وأجهزة التحسس عن بعد وغيرها.

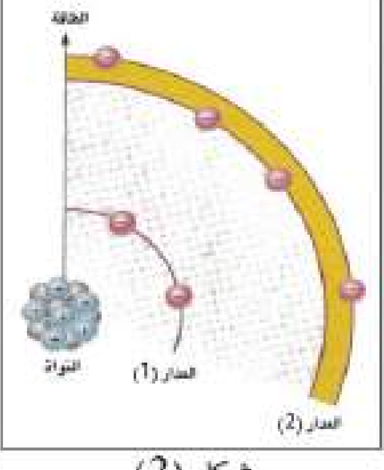


إن جميع تلك الأجهزة تعتمد في عملها على الثنائيات البلورية المختلفة والترانزستورات والدوائر المتكاملة. لاحظ الشكل (1).

شكل (1)

2-7 المدارات الالكترونية ومستويات الطاقة

لعلك تتساءل؟ ما الأغلفة الألكترونية التي تشارك إلكتروناتها في التفاعلات الكيميائية وتحدد الخواص الكهربائية للمادة؟



شكل (2)

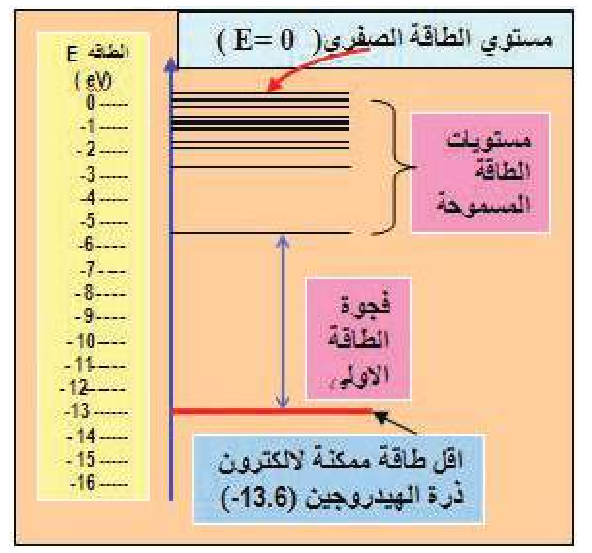
إن الإلكترونات التي تدور في الأغلفة الخارجية الابعد عن النواة تمتلك أعلى قدرا من الطاقة، وتكون مرتبطة بالنواة بأقل قوة جذب (النواة موجبة الشحنة والإلكترونات سالبة الشحنة) مقارنة بالإلكترونات في الأغلفة الأقرب إلى النواة.

لذا فالإلكترونات ذات الطاقة الأعلى تشغل الاغلفة الخارجية الأبعد عن النواة لتلك الذرة، ويسمى الغلاف الخارجي الإبعد عن النواة غلاف التكافؤ Valence shell لاحظ الشكل (2). والإلكترون في هذا الغلاف يسمى إلكترون التكافؤ Valence electron. وهذا يعني أن إلكترونات التكافؤ هذه هي التي تسهم في التفاعلات الكيميائية وتحدد الخواص الإلكترونية للمادة.

تذكر

- الغلاف الثانوي الخارجي الأكثر بعدا عن النواة يسمى بغلاف التكافؤ، والالكترونات التي تشغل هذا الغلاف تسمى إلكترونات التكافؤ.
- تمتلك إلكترونات التكافؤ اكبر قدرا من الطاقة، فتكون ضعيفة الارتباط جدا مع نواة ذرتها مقارنة بالإلكترونات الأقرب إلى النواة.
- إلكترونات التكافؤ تسهم في التفاعلات الكيميائية وهي التي تحدد الخواص الالكترونية للمادة.

لكي نوضح عملية تحرر إلكترون الذرة وتخلصه من قوة جذب النواة. لاحظ الشكل (3)، الذي يمثل مخططا ذا بعد واحد لمستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين، إذ إن المحورالشاقولي (y) يمثل الطاقة E المقاسة بـ (eV) على التدريج السالب، ويمتلك الإلكترون طاقة سالبة نسبة الى مستوى الطاقة الصفري (E=0) والذي يعد أعلى مستوى طاقة في الذرة، وذلك بسبب ارتباط الإلكترون بقوة جذب مع النواة.



شكل (3) (للاطلاع فقط)

أن أقل مقدار طاقة ممكن أن يمتلكه الإلكترون في ذرة الهيدروجين يساوي (−13.6eV)، هذا يعني عند اكتساب هذا الإلكترون طاقة مقدارها (+13.6eV) يتحرر من ذرة الهيدروجين (وهو في المستوى الأرضي ground level).

وليكن معلوما بإن هذا ينطبق فقط على الذرة المنفردة.

3-7 الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات

بماذا تتميز كل من المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة ؟

من المعروف أن مادة الموصل تسهل انسياب التيار الإلكتروني خلالها لذا تتحرك الشحنات الكهربائية بسهولة في الموصلات (من أمثلتها النحاس ، الفضة ، الذهب ، والألمنيوم) وتمتاز ذراتها بإن لها ألكترون تكافؤ واحد يرتبط مع النواة ارتباطا ضعيفا جدا. وهذه الإلكترونات تتمكن بسهولة من فك ارتباطها مع النواة وتصير حرة الحركة (إلكترونات حرة)، لذا فإن المواد الموصلة تحتوي وفرة من الالكترونات الحرة، فينشأ تيار الكتروني خلال الموصل بتسليط فرق جهد مناسب بين طرفيه نتيجة لحركة هذه الإلكترونات باتجاه واحد. إذ إن المقاومة الكهربائية النوعية للمواد الموصلة بحدود (10^{-8} - 10^{-5} Ω m).

أما المادة العازلة فهي تلك المادة التي لا تسمح بانسياب التيارالالكتروني خلالها في الظروف الاعتيادية، تكون إلكترونات التكافؤ فيها مرتبطة ارتباطا وثيقا بالنواة، والمقاومة الكهربائية النوعية للمواد العازلة تقع بحدود (10^{10} - 10^{16} Ω.m)

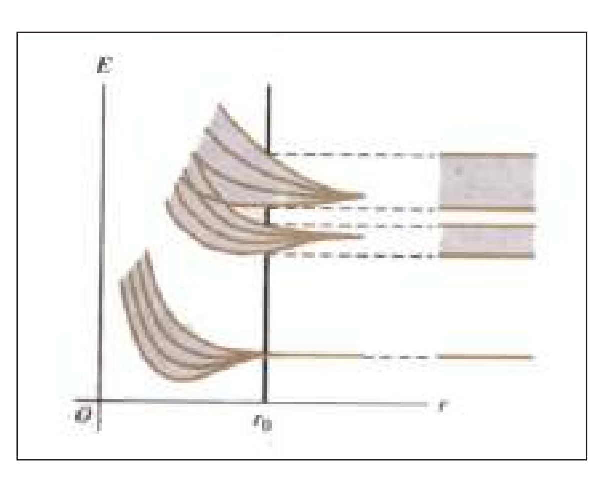
أما المادة شبه الموصلة فهي تلك المادة التي تتحرك الشحنات الكهربائية فيها بحرية أقل مما هي عليه في الموصل وأن المقاومة الكهربائية النوعية لمادة شبه الموصل تقع بين المقاومة النوعية للمواد الموصلة والمواد العازلة في قابليتها على التوصيل الكهربائي والتي تقع بحدود (10^{-5} - 10^{8} Ω m)

4-7 حزم الطاقة في المواد الصلبة Energy Bands in solid materials

بما أن إلكترونات الذرة المنفردة تدور حول النواة بمدارات محددة وأن لكل مدار مستوى محدد من الطاقة.

كيف ستكون مستويات الطاقة للمواد الصلبة التي تحتوي عددا هائلا من الذرات المتراصفة؟

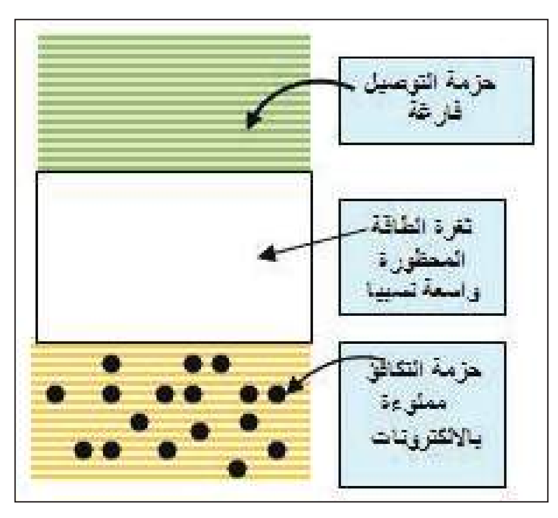
لو امعنا النظر بالشكل (4)، الذي يوضح تأثير تداخل مستويات الطاقة مع بعضها بعض في المواد الموصلة، مما يؤدي إلى تأثر الكترونات أية ذرة بالكترونات الذرات الأخرى المجاورة لها في المادة نفسها، ونتيجة لهذا التفاعل بين الذرات المتجاورة في المادة الواحدة تقسم مستويات الطاقة المسموح بها في الأغلفة الثانوية الخارجية المتقاربة جدا من بعضها بشكل حزم، وكل حزمة منها ذات مستويات طاقة ثانوية متقاربة جدا من بعضها مكونة ما يسمى حزم الطاقة Energy Bands .



شكل (4) للاطلاع يوضح حزم الطاقة

هناك نوعان من حزم الطاقة يحددان الخواص الالكترونية للمادة هما: لاحظ الشكل (5).

- الحزمة الأولى تسمى حزمة التكافؤ Valence Band تحتوي مستويات طاقة مسموح بها طاقتها واطئة، وتكون مملوءة كليا أو جزئيا بالإلكترونات ولا يمكن أن تكون خالية من الإلكترونات. وإلكتروناتها تسمى بإلكترونات التكافؤ، فلا تتمكن إلكترونات التكافؤ من الحركة بين الذرات المتجاورة بسبب قربها من النواة، فهي ترتبط بالنواة بقوى كبيرة نسبيا.
- الحزمة الثانية تسمى حزمة التوصيل Conduction Band تحتوي مستويات طاقة مسموحاً بها ذات طاقة عالية، أعلى من مستويات الطاقة المسموح بها في حزمة التكافؤ، وإلكتروناتها تسمى بإلكترونات التوصيل، تتمكن إلكترونات التوصيل من الانتقال بسهولة لتشارك في عملية التوصيل الكهربائي.



شكل (5) يبين حزم الطاقة

- ثغرة الطاقة المحظورة (Forbidden Energy Gap)

لاتحتوي ثغرة الطاقة المحظورة مستويات طاقة مسموحاً بها (ولاتسمح للإلكترونات أن تشغلها).

وكل إلكترون لكي ينتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عبر ثغرة الطاقة المحظورة يتطلب أن يكتسب طاقة كافية من مصدر خارجي (بشكل طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو بتاثير مجال كهربائي)، مقدارها لا يقل عن مقدار ثغرة الطاقة المحظورة.

لعلك تسأل بماذا تتصف حزم الطاقة في المواد العازلة والموصلة وشبه الموصلة؟

للاجابة عن هذا السؤال لاحظ الشكل (6) الذي يوضح مخططا أنموذجياً لحزم الطاقة في المواد العازلة والموصلة وشبه الموصلة ويتضح من الشكل (6) ما يأتي.

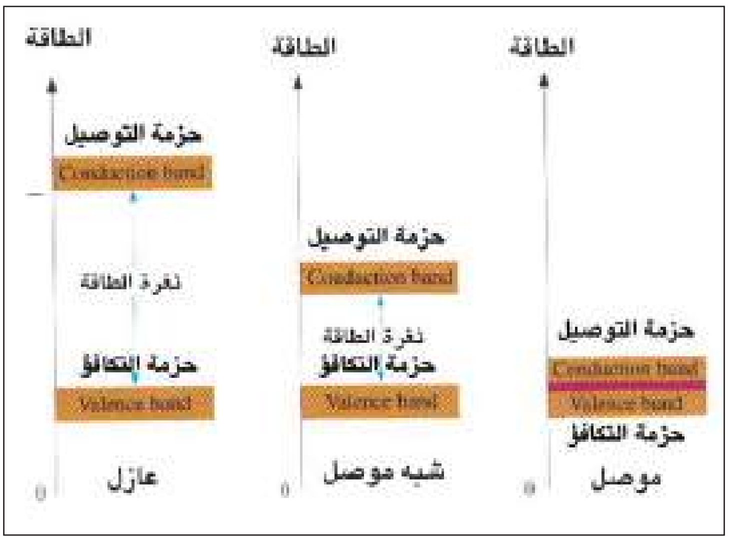
a- حزم الطاقة في المواد الموصلة (المعادن مثلا):

1. تتداخل حزمة التكافؤ مع حزمة التوصيل.

2. تنعدم ثغرة الطاقة المحظورة بين حزمتي التكافؤ والتوصيل.

ونتيجة لذلك تكون إلكترونات التكافؤ طليقة في حركتها خلال المادة الموصلة ولهذا السبب تمتلك المعادن قابلية توصيل كهربائية عالية.

3- تقل قابلية التوصيل الكهربائي في المعادن بارتفاع درجة حرارتها نتيجة لإزدياد مقاومتها الكهربائية (وذلك لإزدياد المعدل الزمني للطاقة الاهتزازية للذرات او الجزيئات).



شكل (6)

b- حزم الطاقة في المواد العازلة: لاحظ الشكل (6)

1. حزمة التكافؤ مملوءة بالكترونات التكافؤ.

2. حزمة التوصيل تكون خالية من الالكترونات.

3. ثغرة الطاقة المحظورة تكون واسعة نسبيا

يتوضح من ذلك أن المادة العازلة لاتمتلك قابلية توصيل كهربائية، وسبب ذلك كون ثغرة الطاقة المحظورة في الماد العازلة واسعة نسبيا (مقدارها حوالي 5eV) أو أكثر من ذلك، لذا فان الكترونات حزمة التكافؤ لاتتمكن عبور ثغرة الطاقة المحظورة والانتقال الى حزمة التوصيل عندما تكون الطاقة المجهزة أقل من ثغرة الطاقة المحظورة، وبالنتيجة تبقى حزمة التكافؤ مملوءة بالكترونات التكافؤ، في حين حزمة التوصيل خالية من الالكترونات.

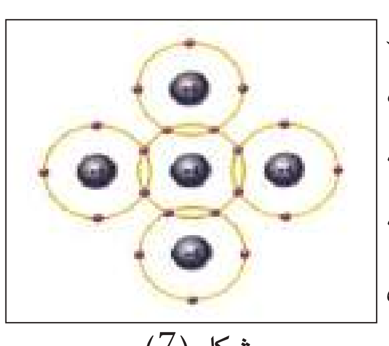
ومن الجدير بالذكر أن تأثير تسليط مجال كهربائي كبير المقدار على المادة العازلة أو تعرّضها لتأثير حراري كبير قد يؤدي ذلك إلى انهيار العازل فينساب تيار قليل جداً خلال العازل.

C– حزم الطاقة في أشباه الموصلات: لاحظ الشكل (6)

عند درجات حرارية منخفضة جدا (عند درجة الصفر كلفن 0K) وفي انعدام الضوء، تسلك مادة شبه الموصل النقية سلوك المادة العازلة، لذا (عند هذه الظروف) فان:

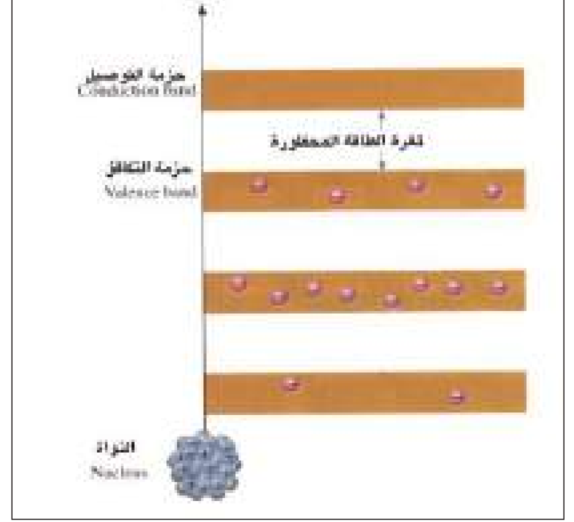
1. حزمة التكافؤ تكون مملوءة بالكترونات التكافؤ.
2. حزمة التوصيل خالية من الالكترونات.
3. ثغرة الطاقة المحظورة ضيقة نسبة للمواد العازلة .

5-7 أشباه الموصلات النقية Intrinsic Semiconductors



شكل (7)

يُعَّد الجرمانيوم (Ge) والسيلكون (Si) من أهم أشباه الموصلات الأكثر استعمالاً في التطبيقات الالكترونية. اذ تحتوي كل ذرة منهما على أربعة الكترونات تكافؤ، لذا فإن كل ذرة سليكون (Si) تتحد بوساطة الكترونات التكافؤ الاربعة مع أربع ذرات مجاورة لها من السليكون، لاحظ الشكل (7) وبهذا تنشأ ثمانية الكترونات تكافؤ، يكوّن كل زوج منها آصرة تساهمية تربط كل ذرتين متجاورتين في بلورة السليكون وتجعل البلورة في حالة استقرار كيميائي.

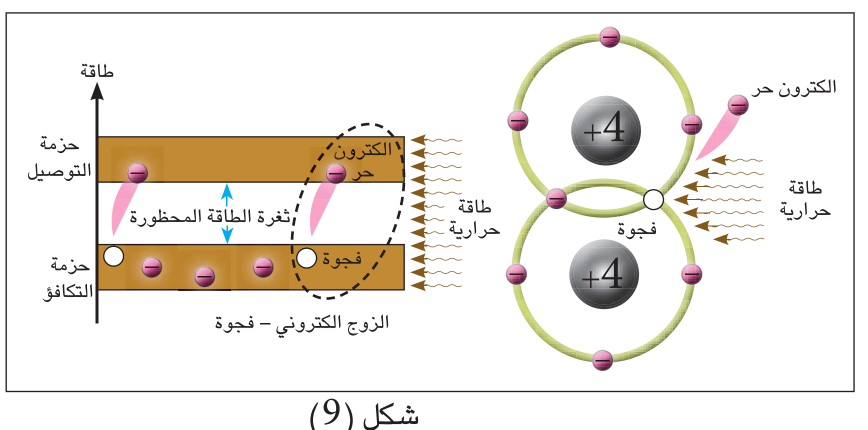


شكل (8) حزم الطاقة للسليكون النقي عند 0k

الشكل (8) يبين حزم الطاقة لذرات السيليكون النقي عند درجة حرارة الصفر كلفن (0K)

كيف بامكاننا جعل شبه الموصل النقي (السليكون مثلا) يمتلك قابلية توصيل كهربائي بوساطة التأثير الحراري؟

للإجابة عن ذلك نجد أنه عند ارتفاع درجة حرارة شبه الموصل النقي الى درجة حرارة الغرفة (300K)، تكتسب الكترونات التكافؤ طاقة كافية لكسر بعض الإواصر التساهمية (مصدرها طاقة حرارية) تمكنها من الانتقال من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل عبر ثغرة الطاقة المحظورة، وعندئذ تكون هذه الكترونات حرة في حركتها خلال حزمة التوصيل. لاحظ الشكل (9).



شكل (9)

بانتقال هذه الالكترونات يحصل شيء مهم، إذ يترك كل الكترون حيزا فارغا في حزمة التكافؤ في الموقع الذي انتقل منه يسمى هذا الموقع الخالي من الالكترونات **بالفجوة (hole)** التي تعمل عمل الشحنة الموجبة، وعند هذه الظروف تتولد الكترونات حرة في حزمة التوصيل واعداد مساوية لها من الفجوات في حزمة التكافؤ وبهذه العملية يتولد ما يسمى بالزوج **(الكترون –فجوة) electron- hole pair**.

تستمر عملية توليد الأزواج (الكترون–فجوة) مع استمرار التأثير الحراري، فيزداد بذلك المعدل الزمني لتوليد الازواج (الكترون– فجوة) بارتفاع درجة حرارة مادة شبه الموصل النقية. إذ يزداد عدد الالكترونات الحرة المنتقلة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل ويزداد نتيجة لذلك عدد الفجوات الموجبة، ماذا يعني ذلك؟
يعني حصول نقصان في المقاومة النوعية لمادة شبه الموصل بارتفاع درجة حرارته.

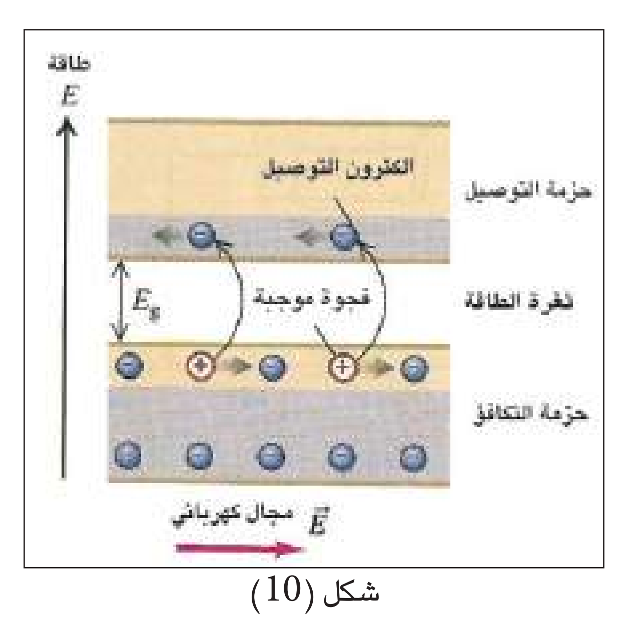
يعتمد المعدل الزمني لتوليد الأزواج (الكترون– فجوة) في شبه الموصل النقي على: (1) درجة حرارة شبه الموصل وعلى (2) نوع مادة شبه الموصل.

يقل مقدار ثغرة الطاقة المحظورة في السليكون النقي بارتفاع درجة حرارته فوق الصفر كلفن حتى درجة حرارة الغرفة (300K) فيكون مقدارها عند تلك الدرجة (1.1eV للسيلكون النقي) و(0.72eV للجرمانيوم النقي).

من الجدير بالذكر أنه في شبه الموصل النقي وعند درجة حرارة الغرفة (300K): يكون تركيز الفجوات الموجبة المتولدة في حزمة التكافؤ مساوياً لتركيز الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل.

تيار الالكترونات والفجوات:

الشكل (10) يوضح تأثير تسليط مجال كهربائي مناسب بين جانبي بلورة شبه موصل نقي مثل السليكون وعند درجة حرارة الغرفة، (300K)، بعد ملاحظتك الشكل (10) أجب عن الاسئلة الآتية:
– هل ينساب تيار كهربائي خلال المادة شبه الموصلة النقية (Si)؟
– في حالة إجابتك بنعم، ما نوع هذا التيار؟

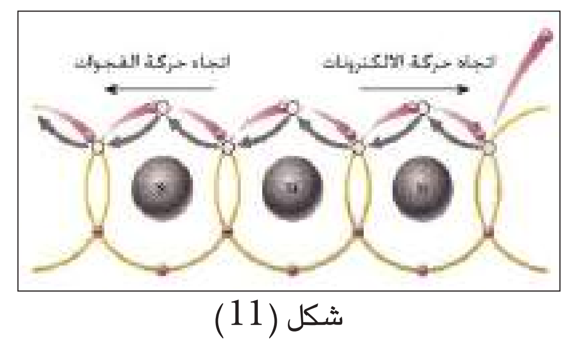


شكل (10)

عند تسليط مجال كهربائي بين جانبي بلورة السليكون النقية عند درجة حرارة الغرفة تنجذب الالكترونات الحرة بسهولة نحو الطرف الموجب. ونتيجة حركة الالكترونات الحرة هذه خلال مادة شبه الموصل النقية ينشأ تيار يسمى **تيار الالكترونات**.

ويتولد نوعا اخر من التيار في حزمة التكافؤ، يسمى **تيار الفجوات**، ويكون اتجاه حركة الفجوات الموجبة داخل البلورة باتجاه المجال الكهربائي المسلط، في حين تتحرك

الالكترونات باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي المسلط، وهذا يعني أن الفجوات تتحرك باتجاه معاكس لاتجاه حركة الالكترونات، لاحظ الشكل (11).



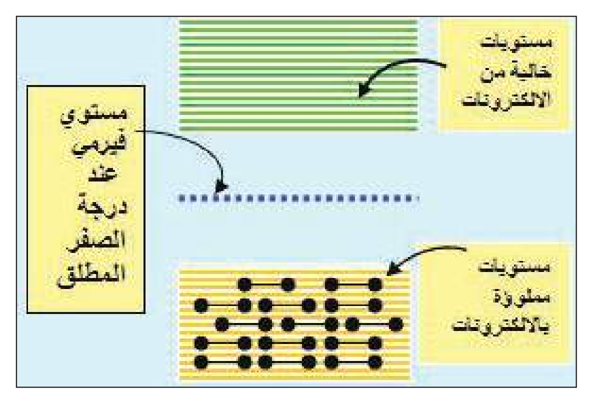
شكل (11)

والتيار الكلي المنساب خلال شبه الموصل النقي هو التيار الناتج من مجموع تيار الالكترونات وتيار الفجوات. وتسمى كل من الالكترونات والفجوات حوامل الشحنة Charge Carriers.

لعلك تتسائل، ما الذي يحدد إشغال الالكترونات مستوي معين من مستويات الطاقة المسموح بها للالكترونات؟

ان اشغال الالكترونات بمستوي طاقة مسموح بها يقارن نسبة الى مستوى طاقة معين يسمى مستوى فيرمي (Fermi level) اذ يعد أعلى مستوى طاقة مسموح به يمكن ان يشغله الالكترون عند حرارة الصفر المطلق (0K).

وفي الموصلات وعند درجة حرارة الصفر كلفن يقع مستوى فيرمي فوق المنطقة المملوءة بالالكترونات من حزمة التوصيل ومستوى الطاقة التي تشغله هذه الالكترونات يكون تحت مستوى فيرمي.



شكل (12) يوضح موقع مستوى فيرمي لشبه الموصل النقي

أما بالنسبة لاشباه الموصلات النقية يقع مستوى فيرمي في منتصف ثغرة الطاقة المحظورة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ لاحظ الشكل (12).

عند تطعيم شبه الموصل النقي باضافة شوائب عندها ينزاح موقع مستوى فيرمي نحو الاسفل أو نحو الاعلى، وتتحدد تلك الازاحة على وفق نوع الشائبة المضافة. (سنتطرق لذلك لاحقاً).

6-7 أشباه الموصلات المُطعّمة (المشوبة او غير النقية) Extrinsic Semiconductors

إذا كان التأثير الحراري في شبه الموصل النقي يعمل على زيادة قابليته في التوصيل الكهربائي، لماذا نلجأ الى عملية اخرى وذلك بتطعيمه بشوائب خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ؟

للاجابة على هذا السؤال وذلك لعدم إمكانية السيطرة على قابلية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل النقية بطريقة التأثير الحراري، لذا يتطلب عمليا ايجاد طريقة أفضل للتحكم في توصيليته الكهربائية من خلال إضافة ذرات عناصر خماسية التكافؤ او ثلاثية التكافؤ تسمى الشوائب (impurities)، بعناية وبمعدل مسيطر عليه (بنسبة واحد لكل 10^8 تقريباً) وبدرجة حرارة الغرفة وبنسب قليلة ومحددة في بلورة شبه موصل نقية، تسمى هذه العملية بالتطعيم (Doping)

وعليه فإنه بعملية التطعيم يكون بالإمكان السيطرة على قابلية التوصيل الكهربائي في شبه الموصل وزيادتها بنسبة كبيرة نتيجة لإزدياد حاملات الشحنة (الالكترونات والفجوات) بالبلورة مقارنة مع ما يحصل في التأثير الحراري.

شبه الموصل نوع N (N- type):

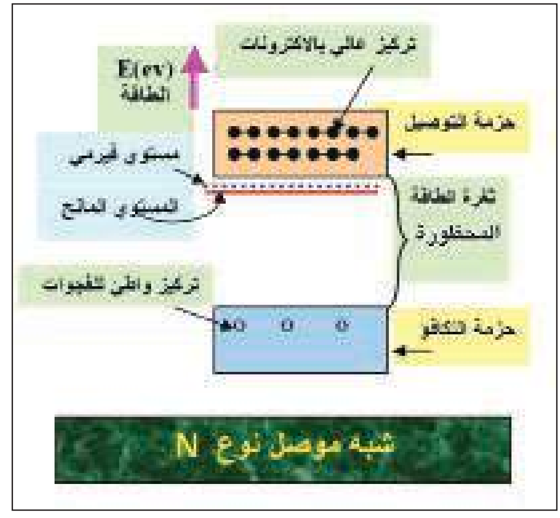
للحصول على بلورة شبه موصل نوع N يتطلب تطعيم بلورة شبه موصل نقية (سليكون أو جرمانيوم) بشوائب ذراتها خماسية التكافؤ (انتيمون Sb مثلا) بعناية وبمعدل مسيطر عليه وبدرجة حرارة الغرفة، ونتيجة لذلك فان كل ذرة شائبة تزيح ذرة سليكون من التركيب البلوري وترتبط مع أربع ذرات سليكون مجاورة لها.



شكل (13) بلورة شبه موصل نوع (N)

وتتم عملية الارتباط هذه بوساطة أربعة من الكترونات التكافؤ الخمسة للذرة الشائبة أما الكترون التكافؤ الخامس للذرة خماسية التكافؤ فيُترك حرا في الهيكل البلوري. لاحظ الشكل (13).

وتُسهم الالكترونات الحرة في عملية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل المُطعّمة ويدعى هذا النوع من الشائبة خماسية التكافؤ، بالذرة المانحة Donor atom. والتي تصير أيوناً موجباً يرتبط مع الهيكل البلوري ارتباطاً وثيقاً ولا يُعد عند ئذ من حاملات الشحنة لأنه لايشارك في عملية التوصيل الكهربائي لشبه الموصل المطعم.



شكل (14)

إن الذرات المانحة هذه تتسبب في ازدياد تركيز الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل، وتقلل من تركيز الفجوات الموجبة في حزمة التكافؤ (المتولدة اصلا بالتاثير الحراري) لذا فإن الذرات المانحة تضيف مستوى طاقة جديد يسمى المستوى المانح (donor level) يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وتحت حزمة التوصيل مباشرةِ، لاحظ الشكل (14).

والمستوى المانح تشغله الالكترونات التي حررتها الذرات المانحة ويمنح الكتروناته إلى حزمة التوصيل.

ونتيجة لذلك يرتفع مستوى فيرمي ويقترب من حزمة التوصيل.

* من الجدير بالذكر أن الالكترونات التي تحررها الشوائب خماسية التكافؤ لاتترك فجوات في حزمة التكافؤ عند انتقالها إلى حزمة التوصيل، (كما حصل ذلك بالتأثير الحراري)، ولهذا السبب يكون تركيز الالكترونات في حزمة التوصيل أكبر من تركيز الفجوات في حزمة التكافؤ لذا تسمى الالكترونات بحاملات الشحنة الرئيسة (او الحاملات الأغلبية) Majority Carriers لأنها تولدت من عمليتي التطعيم والتأثير الحراري. أما الفجوات الموجبة فتسمى بحاملات الشحنة الثانوية (او الحاملات الاقلية) Minority Carriers لأنها تولدت فقط نتيجة التأثير الحراري.

وبالنتيجة نحصل على بلورة شبه موصل من النوع N .

ولكن لماذا تسمى بلورة شبه الموصل بعد تطعيمها بشوائب خماسية التكافؤ بشبه الموصل نوع N وأحياناً بالبلورة السالبة؟ وهل أن شحنة هذه البلورة سالبة ؟

أن سبب تسميتها بالنوع N لأن الحاملات الاغلبية للشحنة هي الالكترونات والحاملات الاقلية للشحنة هي الفجوات الموجبة.

ومن المهم أن تعرف أن صافي الشحنة الكلية للبلورة نوع N يساوي صفرا، أي متعادلة كهربائيا. وذلك لأنها تمتلك عددا من الشحنات السالبة مساويا لعدد الشحنات الموجبة.

شبه الموصل نوع P (P- type):

للحصول على بلورة شبه موصل نوع P يتطلب تطعيم بلورة شبه موصل نقية (سليكون او جرمانيوم) بذرات شوائب ثلاثية التكافؤ (البورون B مثلا) بعناية وبمعدل مسيطر عليه، و بدرجة حرارة الغرفة، ونتيجة لذلك فإن كل ذرة شائبة تزيح ذرة سليكون من التركيب البلوري وترتبط مع ثلاث ذرات سليكون مجاورة لها.

ولكن الشائبة ثلاثية التكافؤ تترك آصرة تساهمية تفتقر الى الكترون واحد، لاحظ الشكل (15) ونتيجة لذلك تتولد فجوة في بلورة السليكون المطعمة بشوائب ثلاثية التكافؤ، وكل ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ تقبل الكترونا من الكترونات التكافؤ لكي ترتبط باربعة اواصر تساهمية مع أربع ذرات سليكون، ولهذا السبب فإن الشائبة ثلاثية التكافؤ، تسمى بالذرة القابلة Acceptor atom ومن أمثلة الشوائب ثلاثية التكافؤ (البورون ، الالمنيوم،الانديوم).



شكل (15) بلورة شبه موصل نوع (P)

وفي عملية تطعيم السليكون بشوائب ثلاثية التكافؤ(مثل البورون)، فالشائبة تصبح أيونا سالبا، لان ذرة البورون بعد قبولها الكتروناً من ذرة السليكون في الهيكل البلوري، تصير أيونا سالبا. والايون السالب لايُعد من نواقل الشحنة لأنه يرتبط مع الهيكل البلوري ارتباطا قويا (باواصر تساهمية) ولا يشارك في عملية التوصيل الكهربائي لشبه الموصل المطعم.

إن الذرات القابلة هذه تضيف مستوى طاقة جديد يسمى المستوى القابل Acceptor level يقع ضمن ثغرة الطاقة المحظورة وفوق حزمة التكافؤ مباشرة، ونتيجة لذلك ينخفض مستوى فيرمي، ويقترب من حزمة التكافؤ. لاحظ الشكل (16).



شكل (16)

ومن الجدير بالذكر أن الذرة الشائبة ثلاثية التكافؤ تتسبب في نشوء فجوة في حزمة التكافؤ عند قبولها الكترونا من الكترونات التكافؤ، (ولا يحصل انتقال الكترونات إضافية إلى حزمة التوصيل كما حصل في التاثير الحراري) ونتيجة لذلك يكون تركيز الفجوات في حزمة التكافؤ أكبر من تركيز الالكترونات في حزمة التوصيل لذا تسمى الفجوات في حزمة التكافؤ بالنواقل الرئيسة (أو الحاملات الاغلبية) للشحنة Majority Carriers والالكترونات في حزمة التوصيل تسمى بالحاملات الثانوية للشحنة (أو الحاملات الأقلية) Minority Carriers. وبالنتيجة نحصل على بلورة شبه موصل من النوع P.

ولكن لماذا تسمى بلورة شبه الموصل بعد تطعيمها بشوائب ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) بشبه الموصل نوع P أحياناً بالبلورة من النوع الموجب؟ وهل ان شحنة هذه البلورة موجبة؟

أن سبب تسميتها بالنوع الموجب او النوع P لأن الحاملات الأغلبية للشحنة هي الفجوات الموجبة في حزمة التكافؤ والحاملات الاقلية للشحنة هي الالكترونات في حزمة التوصيل. أن صافي الشحنة الكلية للبلورة نوع P تساوي صفرا، أي متعادلة كهربائيا، وذلك لأنها تمتلك عددا من الشحنات السالبة (الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل والأيونات السالبة للشوائب ثلاثية التكافؤ) مساويا لعدد الشحنات الموجبة (الفجوات في حزمة التكافؤ).

تذكر

مقدار ثغرة الطاقة المحظورة لشبه الموصل النقي:

- عند درجة الصفر المطلق (1.2eV) للسليكون و(0.78eV) للجرمانيوم.
- عند درجة حرارة المختبر (300K) (1.1eV) للسليكون و(0.72eV) للجرمانيوم.

7-7 الثنائي PN (PN diode)

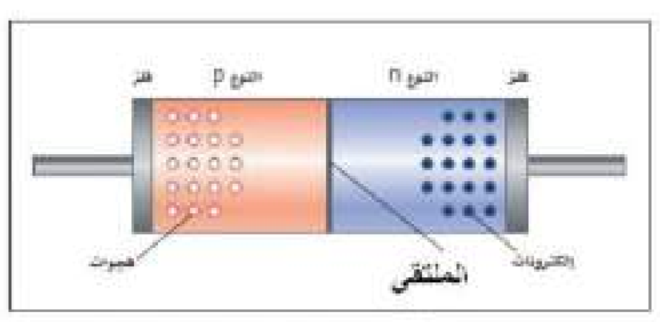
نحتاج في بعض الدوائر الكهربائية والالكترونية الى وسيلة تتحكم باتجاه التيار أو لتغير أو تحسين أشكال الاشارات الخارجة ولاجل ذلك يستعمل الثنائي البلوري pn، الشكل (17) يبين أشكالا مختلفة من الثنائيات البلورية المستعملة في الاجهزة الالكترونية.



شكل (17)

ويُحصل على الثنائي البلوري pn، بان تأخذ بلورة شبه موصل نقية (سليكون أو جرمانيوم)، تطعم بنوعين من الشوائب أحدهما ثلاثية التكافؤ (البورون مثلاً) فنحصل على منطقة شبه موصل نوع p والشوائب الأخرى خماسية التكافؤ (الانتيمون) فنحصل

على منطقة شبه موصلة من النوع N وتطلى منطقة الاتصال بمادة فلزية بحيث يمكن وصل الأسلاك الموصلة بها عند ربط الثنائي البلوري (pn) بالدائرة الخارجية، لاحظ الشكل (18)، ويطلق على السطح الفاصل بين المنطقتين **الملتقى junction** .



شكل (18) ثنائي البلوري pn

وقد عرفنا أن حوامل الشحنة الأغلبية في المادة نوع N هي الالكترونات وحوامل الشحنة الأقلية في المادة نوع N هي الفجوات الموجبة.

ومن ملاحظتنا للشكل (19) نجد أن الالكترونات الحرة في المنطقة N القريبة من الملتقى PN تنتشر (تنضح) إلى المنطقة PN مولدة ايونات موجبة في المنطقة N وانتقال فجوات من المنطقة p الى المنطقة N عبر الملتقى مولدة ايونات سالبة في المنطقة P، وعندئذ تلتحم الالكترونات مع الفجوات القريبة من الملتقى.

شكل (19)

ونتيجة لهذه العملية تنشأ منطقة رقيقة على جانبي الملتقى تحتوي أيونات موجبة في المنطقة N وايونات سالبة في المنطقة p وتكون خالية من حاملات الشحنة تسمى **منطقة الاستنزاف Depletion region** .

يتوقف انتشار الالكترونات عبر الملتقى PN عندما تحصل حالة التوازن.

ما تفسير حصول ذلك؟

أن استمرار انتشار الالكترونات عبر الملتقى PN يولد أيونات موجبة أكثر وأيونات سالبة أكثر على جانبي الملتقى PN في منطقة الاستنزاف فيتولد نتيجة لذلك مجال كهربائي (يمثل باسهم حمراء اللون) في الشكل (19)، يعمل فرق الجهد الكهربائي الناتج عن هذا المجال على منع عبور الكترونات إضافية عبر الملتقى PN فتتوقف عندئذ عملية انتشار الالكترونات، يسمى **بحاجز الجهد (Potential barrier)**.

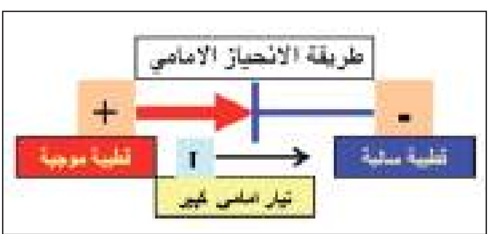
يعتمد مقدار حاجز الجهد في الثنائي PN على نوع مادة شبه الموصل المستعملة ونسبة الشوائب المطعمة بها ودرجة حرارة المادة.

ومقدار حاجز الجهد في الثنائي PN عند درجة حرارة الغرفة (300K) يساوي (0.7V) للمصنوع من السليكون و (0.3V) المصنوع من الجرمانيوم.

8-7 فولطية الانحياز للثنائي PN

لقد عرفنا سابقا أن انتشار الالكترونات عبر الملتقى PN يتوقف عند حصول حالة التوازن، لذا يتطلب تسليط فرق جهد كهربائي مستمر يسمى **فولطية الانحياز (Biasing potential)** لتوافر ظروف عملية مناسبة للجهاز الالكتروني المستعمل. توجد طريقتان لانحياز الملتقى PN، وهما طريقة الانحياز الامامي وطريقة الانحياز العكسي.

a- طريقة الانحياز الامامي Forward Bias method:

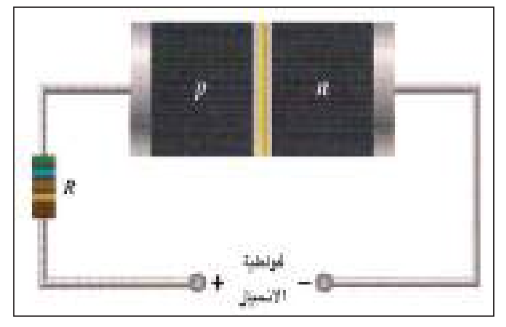


شكل (20)

يربط طرفا الثنائي PN بين قطبي بطارية (بوساطة اسلاك توصيل ومقاومة R) لتحديد مقدار التيار المناسب خلال الثنائي ولتجنب تلف الثنائي، لاحظ الشكلين (20) و (21) في هذه الطريقة يربط القطب الموجب للبطارية مع المنطقة P للثنائي والقطب السالب للبطارية يربط مع المنطقة N للثنائي، ويجب أن يكون فرق الجهد المسلط على طرفي الثنائي أكبر من فرق جهد الحاجز للملتقى PN .

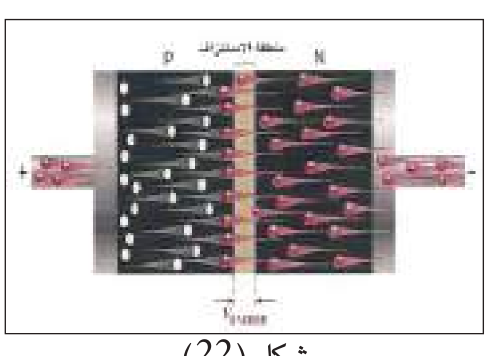


ماذا يحصل للثنائي PN عندما يكون محيّزاً أمامياً ؟



شكل (21) الانحياز الامامي

تتنافر الالكترونات الحرة في المنطقة N (وهي الحاملات الاغلبية للشحنة في المنطقة N) مع القطب السالب للبطارية مندفعة نحو الملتقى pn، مكتسبة طاقة من البطارية تمكنها من التغلب على حاجز الجهد الكهربائي وتعبر الملتقى pn الى المنطقة P، وفي الوقت نفسه تتنافر الفجوات في المنطقة P (وهي الحاملات الاغلبية للشحنة في المنطقة p) مع القطب الموجب للبطارية نحو الملتقى، pn مكتسبة طاقة من البطارية تمكنها من التغلب على حاجز الجهد وتعبر الملتقى pn الى المنطقة N، وبذلك تضيق منطقة الاستنزاف ويقل حاجز الجهد للملتقى pn . لاحظ الشكل (22). لأن اتجاه المجال الكهربائي المسلط على الثنائي يكون معاكسا لاتجاه المجال الكهربائي لحاجز الجهد وأكبر منه، وتقل بذلك مقاومة الملتقى، ولهذه الأسباب ينساب تيار كبير خلال الملتقى، pn يسمى بالتيار الأمامي.



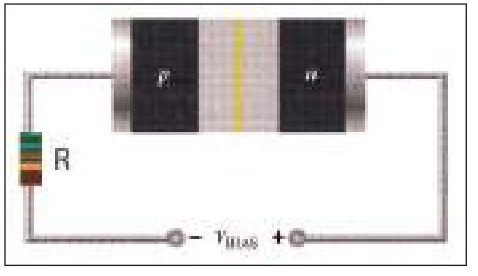
شكل (22)

b- طريقة الانحياز العكسي Reverse Bias method:

طريقة الانحياز العكسي

شكل (23)

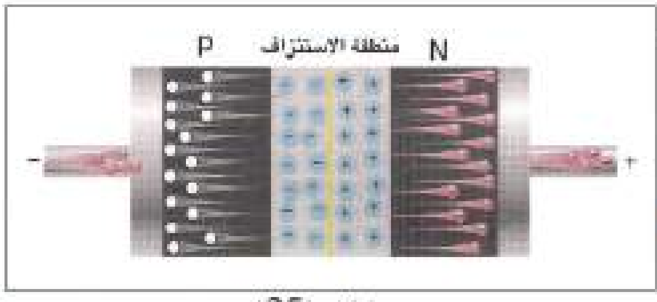
يربط طرفا الثنائي pn بين قطبي بطارية (بوساطة اسلاك توصيل ومقاومة R)، لاحظ الشكلين (23) و (24) في هذه الطريقة يربط القطب السالب للبطارية مع المنطقة P للثنائي والقطب الموجب للبطارية يربط مع المنطقة N للثنائي، ماذا يحصل للثنائي pn عندما يكون محيّزاً عكسيا ؟



شكل (24) الانحياز العكسي

تنجذب الالكترونات الحرة في المنطقة N نحو القطب الموجب للبطارية مبتعدة عن الملتقى pn، وفي الوقت نفسه تنجذب الفجوات

في المنطقة P نحو القطب السالب للبطارية مبتعدة عن الملتقى pn لاحظ الشكل (25).

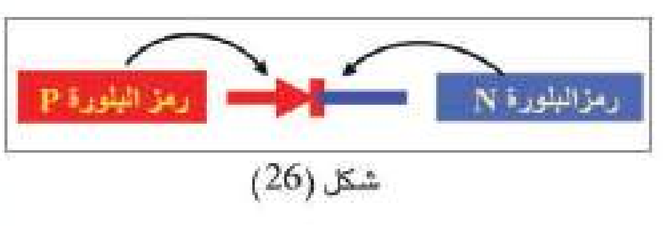


شكل (25)

وبذلك تتسع منطقة الاستنزاف ويزداد حاجز الجهد للملتقى pn لأن اتجاه المجال الكهربائي المسلط على الثنائي يكون باتجاه المجال الكهربائي لحاجز الجهد للملتقى pn فتزداد بذلك مقاومة الثنائي.

ولهذه الأسباب ينساب تيار صغير جدا (يمكن ان يهمل) خلال الملتقى للثنائي pn يسمى بالتيار العكسي

يرمز للثنائي pn بالرمز الموضح في الشكل (26)

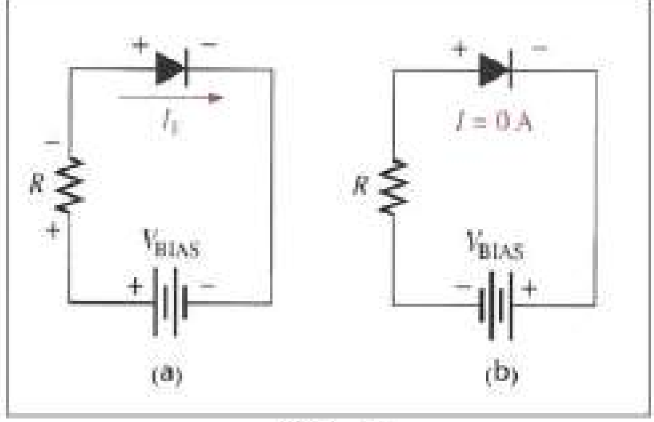


شكل (26)

الشكل (27) يوضح مخطط للدائرة الكهربائية المستعمل فيها رمز الثنائي pn بطريقتين.

الشكل (27-a) يوضح رسم مخطط لدائرة كهربائية فيها ثنائي pn مربوط بطريقة انحياز أمامي (لاحظ انسياب تيار في الدائرة).

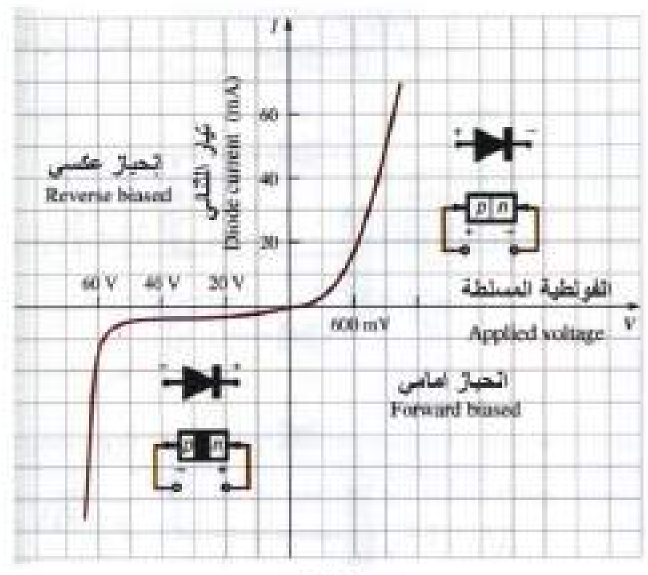
الشكل (27-b) يوضح رسم مخطط لدائرة كهربائية فيها ثنائي pn مربوط بطريقة انحياز عكسي (لاحظ عدم انسياب تيار في الدائرة).



شكل (27)

ويمكن تمثيل تغير مقدار التيار المنساب في الثنائي البلوري مع تغير مقدار الفولطية المسلطة على طرفي الثنائي في حالتي الانحياز الأمامي والانحياز العكسي.

فعند زيادة مقدار فولطية الانحياز الأمامي يزداد مقدار التيار الامامي، لاحظ الشكل (28)، وإذا عكسنا قطبية الفولطية المسلطة (فولطية الانحياز العكسي) يكون التيار المنساب عبر الثنائي البلوري مقارباً للصفر.

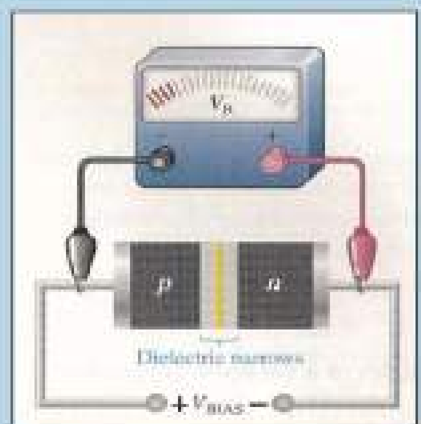


شكل (28) للاطلاع

هل تعلم

أن منطقة الاستنزاف (بين المنطقة p والمنطقة N) في الثنائي البلوري pn تعد عازلا كهربائيا بين لوحي متسعة.

- فعند ربط الثنائي البلوري pn بطريقة الانحياز الأمامي، تضيق منطقة الاستنزاف، ويكون سمك العازل الكهربائي رقيقا وهذا يؤدي إلى زيادة مقدار سعة المتسعة بين المنطقتين نتيجة لنقصان البعد بين الصفيحتين على وفق العلاقة:



$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

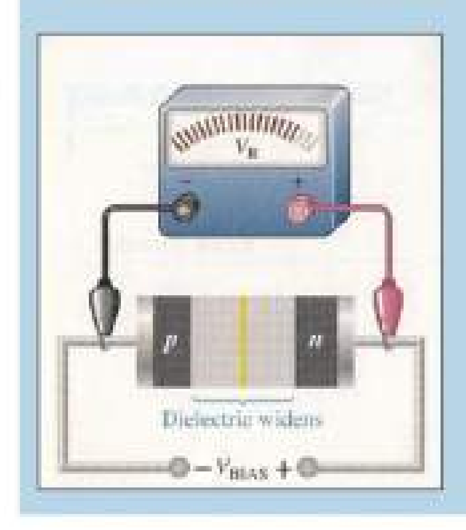
فتقل رادة السعة ويقل بذلك حاجز الجهد على جانبي الملتقى.

نلاحظ ذلك بربط فولطميتر بين طرفي الثنائي فيشير الى فرق جهد صغير عبر طرفي الثنائي المحيّز أمامياً. لاحظ الشكل المجاور.

- وعند ربط الثنائي البلوري pn بطريقة الانحياز العكسي، تتسع منطقة الاستنزاف، ويكون العازل الكهربائي سميكا وهذا يؤدي الى نقصان مقدار سعة المتسعة بين المنطقتين.

فتزداد رادة السعة ويزداد بذلك حاجز الجهد على جانبي الملتقى.

نلاحظ ذلك بربط فولطميتر بين طرفي الثنائي فيشير الى فرق جهد كبير عبر طرفي الثنائي المحيّز عكسيا. لاحظ الشكل المجاور.



9-7 بعض انواع الثنائيات

سبق أن عرفنا أن مصدر الطاقة اللازمة لتوليد الازواج (الكترون-فجوة) في أشباه الموصلات هو طاقة حرارية، في أغلب الاحيان فإن تلك الطاقة هي التي تزودها حرارة الغرفة. ولكن هل بالامكان الإفادة من الطاقة الضوئية أو الأشعة الكهرومغناطيسية للاغراض نفسها؟ وهل يمكن استعمال الضوء للتحكم في قابلية التوصيل الكهربائي للمواد شبه الموصلة وللثنائي pn؟

أن الطاقة الضوئية (طاقة الفوتون) الساقطة على الثنائي pn يمكن تحويلها الى طاقة كهربائية، والثنائيات المستعملة لهذه الاغراض تكون بنوعين، الاول الثنائي المتحسس للضوء والثاني ثنائي الخلية الضوئية أو الخلية الشمسية.

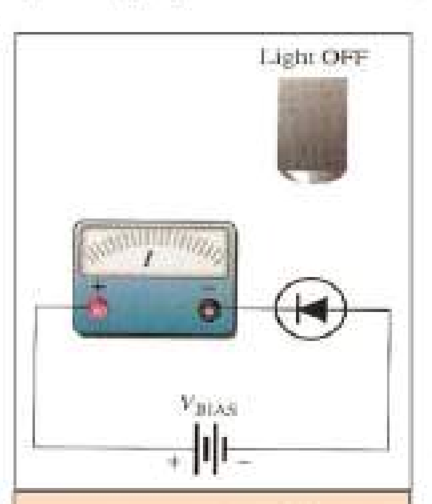
- **الثنائي المتحسس للضوء:**

يربط هذا الثنائي بطريقة الانحياز العكسي قبل تسليط الضوء عليه، لاحظ الشكل (29) لكي يكون التيار المنساب فيه ضعيفا جدا فيهمل (وهو تيار الالكترونات والفجوات المتولد بالتاثير الحراري) وهذا يعني أن التيار في دائرة هذا الثنائي يساوي صفرا في حالة عدم توافر تأثير ضوئي في الثنائي.

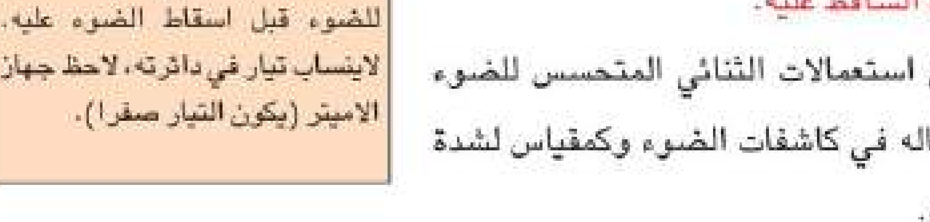
يعمل هذا الثنائي على تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كهربائية، فعند تعرض الثنائي pn للضوء لاحظ الشكل (30).

تتولد حاملات جديدة للشحنة وبكمية تعتمد على شدة الضوء الساقط عليه، **وقد وجد عمليا إن مقدار التيار في دائرة الثنائي المتحسس للضوء يتناسب طرديا مع شدة الضوء الساقط عليه.**

من استعمالات الثنائي المتحسس للضوء استعماله في كاشفات الضوء وكمقياس لشدة الضوء.



الشكل (29) الثنائي pn المتحسس للضوء قبل اسقاط الضوء عليه. لاينساب تيار في دائرته، لاحظ جهاز الاميتر (يكون التيار صفرا).



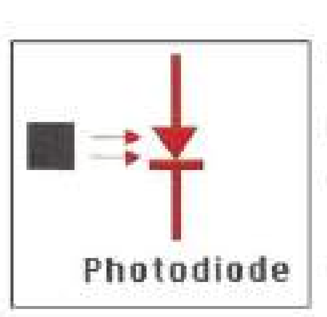
الشكل (30) الثنائي pn المتحسس للضوء عند اسقاط الضوء عليه. ينساب تيار في دائرته، لاحظ جهاز الاميتر (يشير الى انسياب تيار)

- **ثنائي الخلية الضوئية photovoltaic diode أو الخلية الشمسية solar cell:**

يعمل ثنائي الخلية الشمسية pn على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

يرمز له كما في الشكل (31)

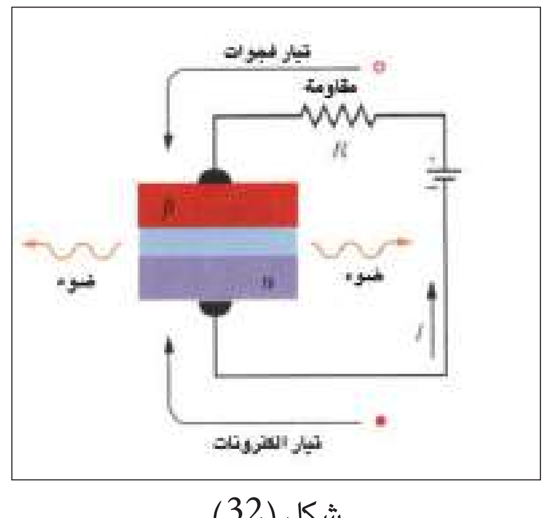
إذ يربط هذا الثنائي بطريقة الانحياز العكسي قبل تسليط الضوء على منطقة الملتقى pn فالفوتون الذي يمتلك طاقة تساوي أو تزيد على (1.1ev) يتمكن من توليد زوج من الالكترون فجوة في السليكون والفوتون الذي تمتلك طاقة تساوي أو تزيد على 0.72 ev يتمكن من توليد زوج من الالكترون. فجوة في الجرمانيوم فيعمل هذا الثنائي على توليد قوة دافعة كهربائية بين طرفيه عند سقوط الضوء عليه، ومقدارها في الثنائي المصنوع من السليكون (0.5V) والمصنوع من الجرمانيوم (0.1V).



شكل (31) رمز الثنائي pn الخلية الشمسية.

كما يستعمل هذا الثنائي كثيرا في الاقمار الصناعية كمصدر طاقة. فيمكن ربط هذه الخلايا على التوالي مع بعضها لزيادة جهدها، وتربط على التوازي مع بعضها لزيادة قدرتها.

- **الثنائي الباعث للضوء Light Emitting Diode ويرمز له (LED):**



شكل (32)

يعمل هذا الثنائي على تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية، إذ يربط بطريقة الانحياز الأمامي، لاحظ الشكل (32) وعند تسليط فرق جهد كهربائي خارجي بين طرفيه ينساب تيار في دائرته نتيجة حصول عملية إعادة الالتحام التي تحصل بين الالكترونات والفجوات فتتحرر طاقة نتيجة سقوط الالكترونات في الفجوات وهذه الطاقة تظهر بشكل حرارة داخل التركيب البلوري، وإذا كانت مادة الثنائي من زرنيخيد الكاليوم (GaAs) تكون الطاقة المتحررة نتيجة سقوط الالكترونات في الفجوات بشكل طاقة ضوئية.

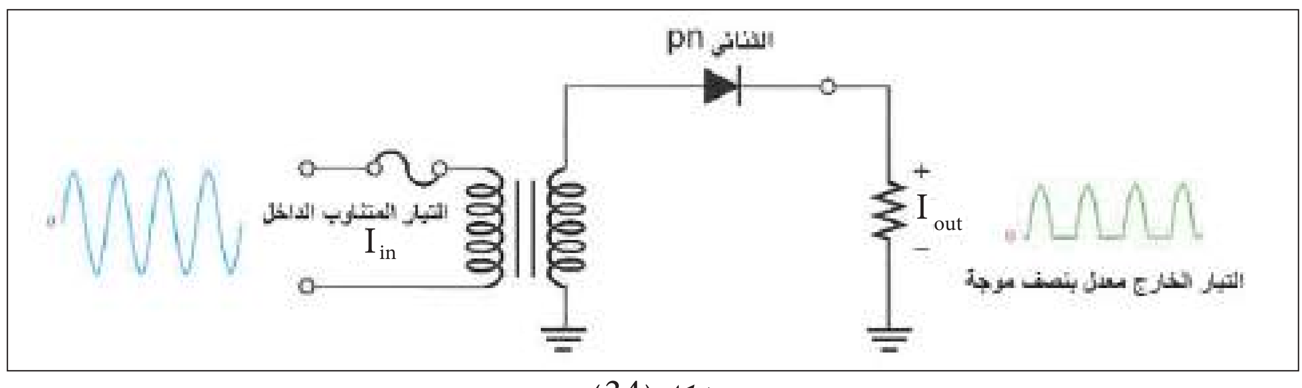
وتبعث هذه الثنائيات الضوء بألوان مختلفة (أحمر ، أصفر ،أخضر) على وفق المادة المصنوع كل منها. وهناك ثنائيات أخرى تبعث أشعة تحت الحمراء.


شكل (33)

تزداد شدة الضوء المنبعث من الثنائي الباعث للضوء بازدياد مقدار التيار الامامي للثنائي البلوري المنساب في دائرته. تستعمل الثنائيات الباعثة للضوء في الحاسبات والساعات الرقمية لإظهار الارقام وتعتمد فكرة الشاشات الرقمية على تركيب مجموعة من الثنائيات على شكل مكون من سبع اضلاع، إذ يمكن اظهار الرقم المضيء من (9 – 0) بتوزيع التيار الكهربائي على الثنائي المستعمل لغرض معين، لاحظ الشكل (33).

- **الثنائي المعدل للتيار:**

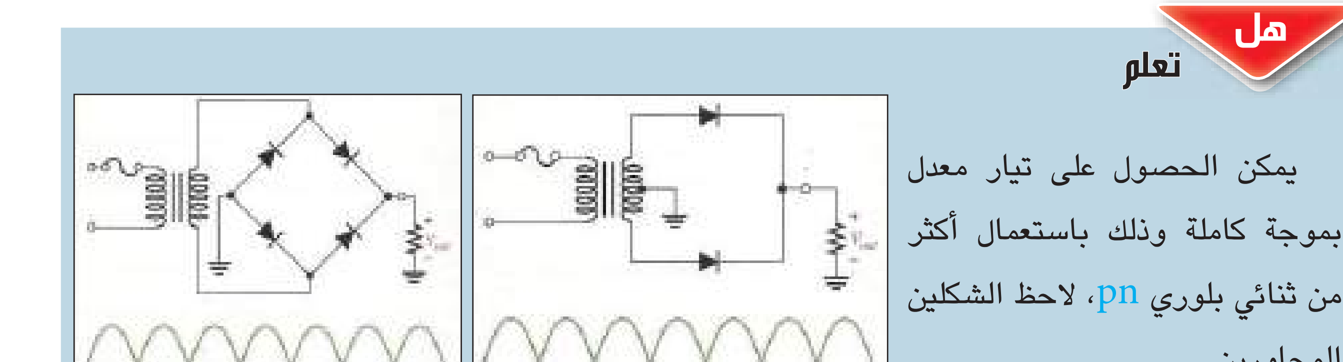
يعمل على تعديل التيار المتناوب الى تيار معدل باتجاه واحد، فعند ربط الثنائي بمصدر للفولطية المتناوبة، فإن أحد نصفي الموجة مثلاً (القطبية الموجبة) مثلاً تجعل انحيازه بالاتجاه الامامي فيسمح للتيار أن ينساب في الدائرة. لاحظ الشكل (34).



شكل (34)

أما النصف الثاني للموجة فإنه يجعل انحياز الثنائي بالاتجاه العكسي، وعندئذ لايسمح للتيار أن ينساب في الدائرة.

نستنتج من ذلك أن هذا الثنائي يعمل على تحويل التيار المتناوب الى تيار معدل بنصف موجة.



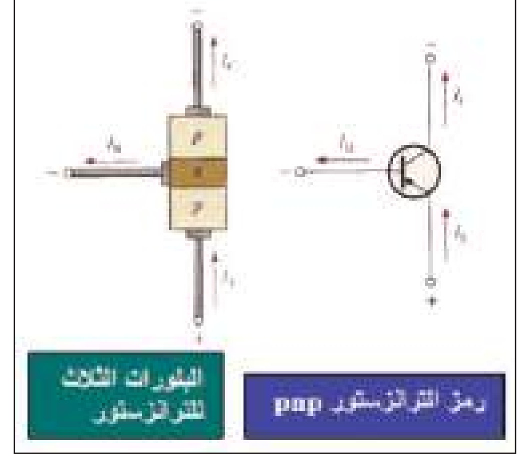
هل تعلم

يمكن الحصول على تيار معدل بموجة كاملة وذلك باستعمال أكثر من ثنائي بلوري pn، لاحظ الشكلين المجاورين.

10-7 الترانزستور Transistor

التزانزستور نبيطة (جهاز device) تتكون من ثلاث مناطق مصنوعة من مادة شبه موصلة (سليكون أو جرمانيوم)، يفصل بينها ملتقيان، المناطق الثلاث تسمى، (الباعث Emitter ويرمز له E، القاعدة Base ويرمز لها B، والجامع Collector ويرمز له C). منطقة الباعث تُطعَّم دائما بنسبة عالية من الشوائب ومنطقة القاعدة تُطعَّم بنسبة قليلة من الشوائب، أما منطقة الجامع فتكون نسبة الشوائب فيها متوسطة نسبياً. ويكون الترانزستور بنوعين:

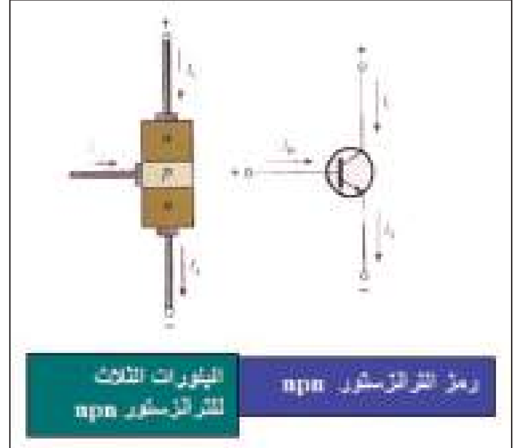
النوع الأول ترانزستور pnp لاحظ الشكل (35) والثاني ترانزستور npn ، لاحظ الشكل (36).



شكل (35)

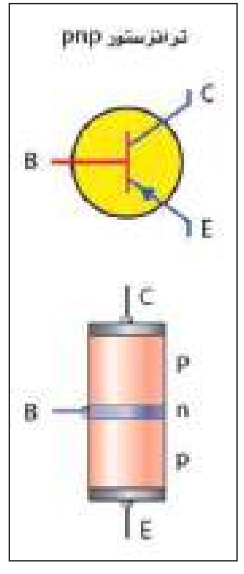
بما أن الباعث هو الذي يجهز حاملات الشحنة (charge carriers) لذا فانه يحيّز دائما انحيازاً أمامياً.

وبما أن الجامع يعمل على جذب تلك الحاملات خلال القاعدة لذا فإنه يحيّز دائما انحيازاً عكسياً.



شكل (36)

ترانزستور pnp



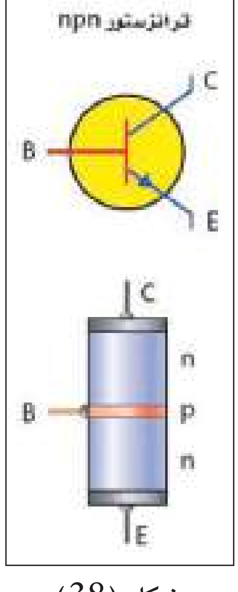
شكل (37)

يتألف من منطقتين من شبه موصل نوع p إحداهما تسمى الباعث والأخرى تسمى الجامع تفصل بينهما منطقة رقيقة نسبيا من نوع n تسمى القاعدة والمناطق الثلاث هي اقطاب الترانزستور لاحظ الشكل (37).

ولعلك تريد أن تعرف نوع حاملات الشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي خلال الترانزستور pnp ؟ وما علاقة تيار الباعث بتيار الجامع؟

الإجابة عن ذلك هوان الفجوات هي التي تتحرك من الباعث إلى الجامع خلال الترانزستور pnp. (وهي الحاملات الاغلبية للشحنة).

ترانزستور npn



شكل (38)

يتألف من منطقتين من شبه موصل نوع n إحداهما تسمى الباعث والاخرى تسمى الجامع، تفصل بينهما منطقة رقيقة نسبيا من نوع p تسمى القاعدة والمناطق الثلاث هي اقطاب الترانزستور لاحظ الشكل (38).

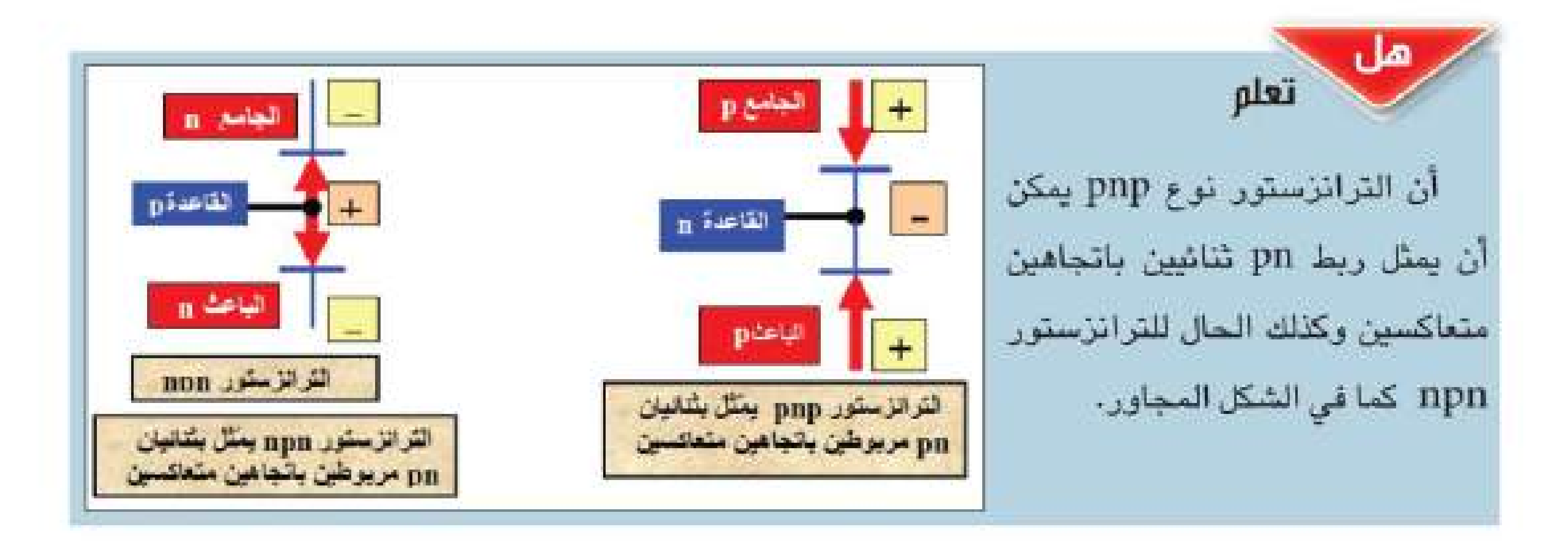
وبإمكانك أن تسأل: ما نوع حاملات الشحنة التي تقوم بعملية التوصيل الكهربائي خلال الترانزستور npn ؟

وما علاقة تيار الباعث بتيار الجامع؟

الإجابة عن ذلك هوان الالكترونات هي التي تتحرك من الباعث الى الجامع خلال الترانزستور npn. فهي الحاملات الاغلبية.

تذكر

* تيار الجامع I_C يكون دائما أقل من تيار الباعث I_E بمقدار تيار القاعدة I_B، وذلك بسبب حصول عملية إعادة الالتحام التي تحصل في منطقة القاعدة بين الفجوات والالكترونات. فيكون $(I_C = I_E - I_B)$.
* تيار القاعدة يكون صغيرا جدا نسبة لتيار الباعث I_E، لأن منطقة القاعدة رقيقة ونسبة تطعيمها بالشوائب قليلة.
* إذا كان تيار القاعدة I_B يساوي مثلاً 1% من تيار الباعث I_E، فيكون تيار الجامع I_C حوالي 99% من تيار الباعث



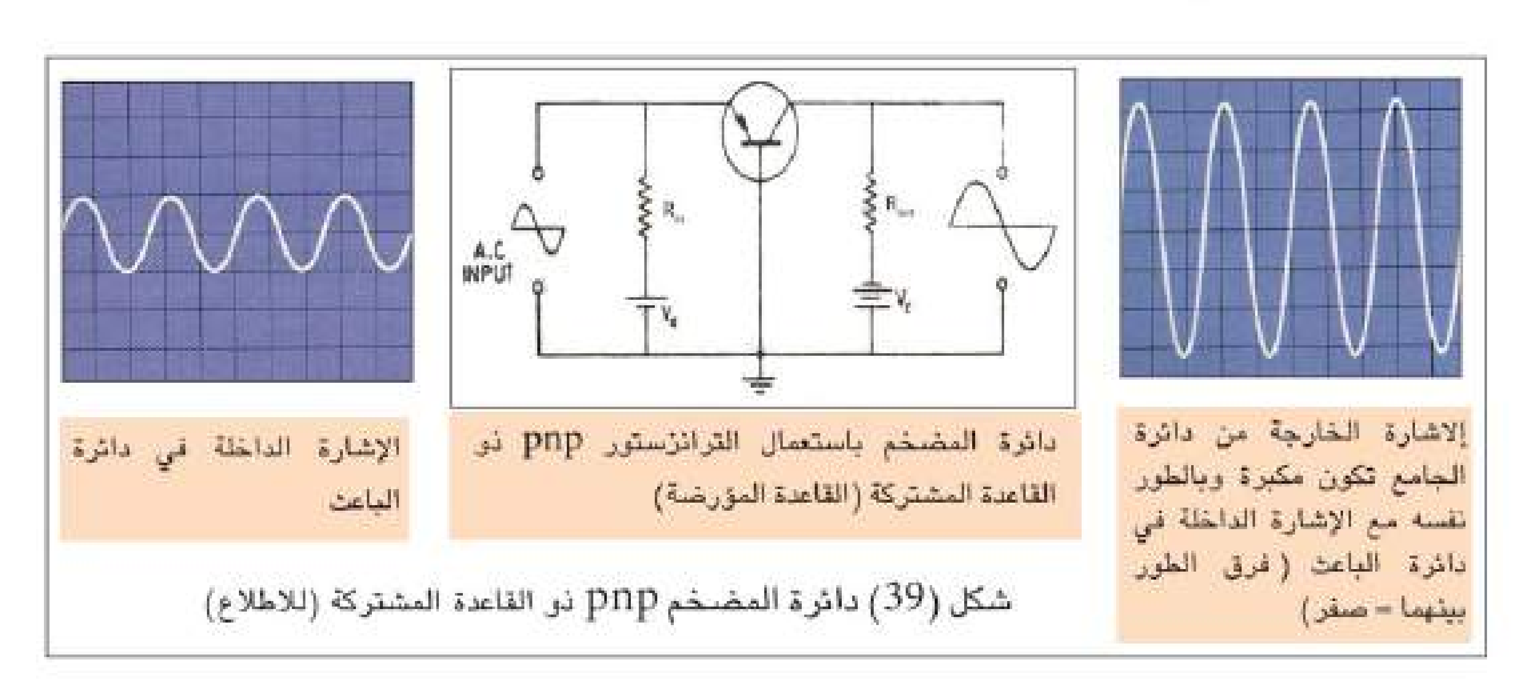
استعمال الترانزستور كمضخم:

إن العمل الأساسي للترانزستور هو تضخيم الإشارة الداخلة فيه، ومن هذه المضخمات: المضخم pnp ذو القاعدة المشتركة (القاعدة المؤرضة) والمضخم pnp (ذو الباعث المشترك). واختيار شكل ونوع الترانزستور لتطبيق معين يعتمد اعتمادا كبيرا على ممانعة الدخول وممانعة الخروج.

المضخم pnp ذو القاعدة المشتركة (القاعدة المؤرضة):

إن عملية التضخيم في الترانزستور تعتمد سيطرة دائرة الدخول ذات القدرة الواطئة على دائرة الخروج ذات القدرة العالية.

من ملاحظتنا للشكل (39) الذي يمثل مخططا لدائرة المضخم باستعمال الترانزستور pnp ذي القاعدة المشتركة (القاعدة مؤرضة) نجد أن ملتقى (الباعث-قاعدة) محيِّزاً بالاتجاه الأمامي، وملتقى (الجامع-قاعدة) محيِّزاً بالاتجاه العكسي.



الإشارة الخارجة من دائرة الجامع تكون مكبرة وبالطور نفسه مع الإشارة الداخلة في دائرة الباعث (فرق الطور بينهما = صفر)

دائرة المضخم باستعمال الترانزستور pnp ذو القاعدة المشتركة (القاعدة المؤرضة)

الإشارة الداخلة في دائرة الباعث

شكل (39) دائرة المضخم pnp ذو القاعدة المشتركة (للاطلاع)

ويتميّز بان:

- دائرة الدخول (دائرة الباعث–قاعدة) ممانعتها صغيرة جدا (لان ملتقى الباعث– قاعدة يكون محيّزاً باتجاه امامي)، ودائرة الخروج (دائرة الجامع – قاعدة) تكون ممانعتها كبيرة جدا (لان ملتقى الجامع –قاعدة يكون محيّزا ً باتجاه عكسي).
- فولطية انحياز دائرة الدخول صغيرة جدا في حين أن فولطية انحياز دائرة الخروج كبيرة جدا، فيكون ربح الفولطية (Voltage gain) كبيراً:

$$\text{Voltage gain } (A_v) = \frac{\text{output voltage } (V_{out})}{\text{input voltage } (V_{in})}$$

- ربح التيار (current gain) أقل من الواحد الصحيح.

إذ إن ربح التيار (Current gain) هو نسبة تيار الخروج (تيار دائرة الجامع I_C) الى تيارالدخول (تيار دائرة الباعث I_E):

$$\text{Current gain } (\alpha) = \frac{I_c}{I_E}$$

- ربح القدرة (Power gain) يكون متوسطا:

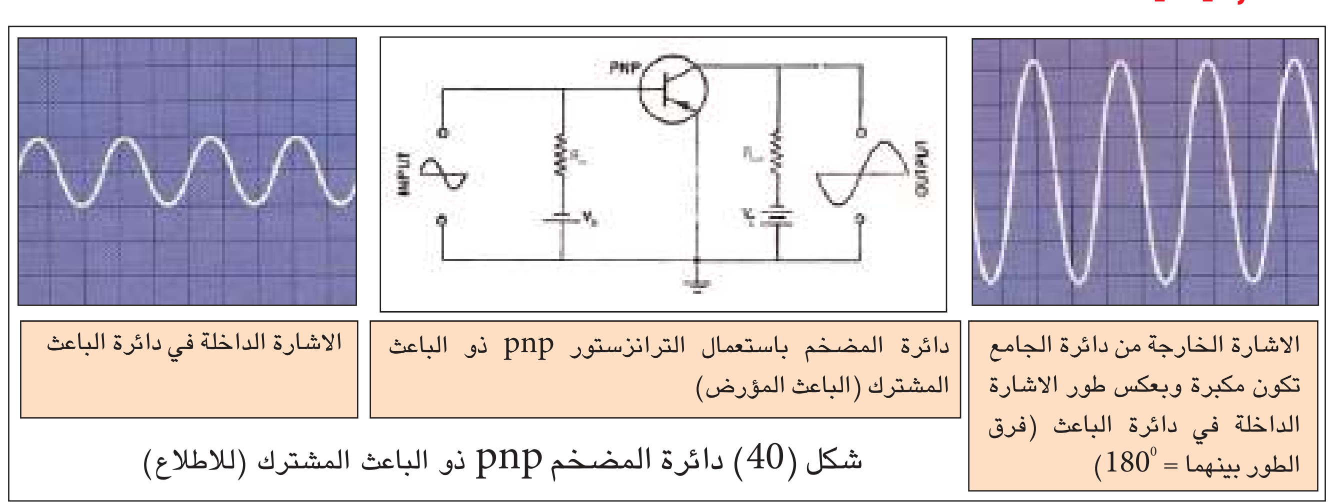
$$\text{Power gain } (G) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\text{Power gain } (G) = \text{Current gain } (\alpha) \times \text{Voltage gain } (A_v)$$

- الإشارة الخارجة تكون بالطور نفسه مع الإشارة الداخلة. فما هو تفسير ذلك ؟

ان سبب ذلك هو ان تيار الجامع يتغير باتجاه تيار الباعث نفسه.

المضخم pnp ذو الباعث المشترك (الباعث المؤرض):



الاشارة الخارجة من دائرة الجامع تكون مكبرة وبعكس طور الاشارة الداخلة في دائرة الباعث (فرق الطور بينهما = 180°)

دائرة المضخم باستعمال الترانزستور pnp ذو الباعث المشترك (الباعث المؤرض)

الاشارة الداخلة في دائرة الباعث

شكل (40) دائرة المضخم pnp ذو الباعث المشترك (للاطلاع)

من ملاحظتنا للشكل (40) الذي يمثل مخططا لدائرة المضخم باستعمال الترانزستور pnp ذي الباعث المشترك (الباعث مؤرض) نجد أن:

القاعدة تكون بجهد سالب نسبة إلى الباعث، والجامع يكون بجهد سالب نسبة إلى كل من الباعث والقاعدة.

عند وضع فولطية إشارة متناوبة (ac. Signal voltage) بين طرفي دائرة الدخول ستعمل على تغيير جهد القاعدة. وقد وجد أن أي تغيير صغير في جهد القاعدة سيكون كافيا لإحداث تغيراً كبيراً في تيار دائرة (الجامع–قاعدة). وبما أن هذا التيار ينساب خلال حمل مقاومته (R_L) كبيرة المقدار فهو يولد فرق جهد كبير المقدار عبر مقاومة الحمل والذي يمثل فرق جهد الاشارة الخارجة.

يلاحظ من الشكل (40) ان الاشارة الخارجة من دائرة الجامع تكون بطور معاكس لطور الاشارة الداخلة في دائرة الباعث (فرق الطور بينهما =180^0). فما هو تفسير ذلك ؟

إن جواب ذلك هو:

إن النصف الموجب لإشارة فولطية الدخول يقلل من مقدار فولطية الانحياز الأمامي لملتقى (الباعث– قاعدة) فيقل بذلك مقدارالتيارالمنساب في دائرة (الجامع–قاعدة) والمنساب في الحمل (R_L)، وبالنتيجة يتناقص فرق الجهد عبر الحمل وهذا يجعل جهد الإشارة الخارجة سالبا، أما النصف السالب للإشارة الداخلة فهو يتسبب في زيادة مقدار فولطية الانحياز الأمامي لملتقى (الباعث– قاعدة) ومن ثم يجعل جهد الإشارة الخارجة موجبا.

وتتميّز دائرة المضخم pnp ذي الباعث المشترك (الباعث المؤرض) بان:

- ربح التيار (Current gain) عالياً تيار الخروج (تيار دائرة الجامع I_c) أكبر من تيار الدخول (تيار القاعدة I_B) لأن:

ربح التيار (Current gain) هو نسبة تيار الخروج (تيار دائرة الجامع I_C) الى تيار الدخول (تيار القاعدة I_B).

$$\text{Current gain }(\alpha) = \frac{I_C}{I_B}$$

- ربح الفولطية A_v (Voltage gain) كبيراً (فولطية الخروج أكبر من فولطية الدخول).

$$\text{Voltage gain }(A_v) = \frac{\text{output voltage }(V_{out})}{\text{input voltage }(V_{in})}$$

- ربح القدرة G (Power gain) يكون كبيراً جدا (ربح القدرة يساوي ربح الفولطية A_v × ربح التيار α).

$$\text{Power gain }(G) = \text{Current gain }(\alpha) \times \text{Voltage gain }(A_v)$$

$$\text{Power gain }(G) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

- الإشارة الخارجة تكون بطور معاكس للإشارة الداخلة فرق الطور (180^0) وسبب ذلك هو أن تيار الجامع يتغير باتجاه معاكس لتغير تيار القاعدة.

مثال (1)

في دائرة الترانزستور كمضخم ذي القاعدة المشتركة (القاعدة مورضة) إذا كان تيار الباعث: $I_E = 3\,mA$

وتيار الجامع $I_C = 2.94\,mA$ ومقاومة الدخول $R_{in} = 500\,\Omega$ ومقاومة الخروج $R_{out} = 400K\,\Omega$ احسب:

1– ربح التيار (α) Current gain 2– ربح الفولطية (A_v)

الحل

1) $\propto = \frac{I_c}{I_E} = \frac{2.94\times10^{-3}A}{3\times10^{-3}A} = 0.98$ ربح التيار

2) $V_{in} = I_E\,R_{in} = (3\times10^{-3}A)(500\Omega) = 1.5V$

$V_{out} = I_c\,R_{out} = (2.94\times10^{-3}A)(400000\Omega)$

$V_{out} = 1176V$

$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1176V}{1.5V} = 784$ ربح الفولطية

مثال (2)

في دائرة الترانزستور كمضخم ذي القاعدة المشتركة (القاعدة مؤرضة) إذا كان ربح القدرة $G = 768$ وتكبير الفولطية (ربح الفولطية) يساوي $A_v = 784$ وتيار الباعث $(I_E = 3\times10^{-3}A)$ جد تيار القاعدة (I_B)

الحل

$\text{power gain}(G) = \propto \times A_V$

$768 = \propto \times 784$

$\therefore \propto = \frac{768}{784} = 0.98$

$\propto = \frac{I_c}{I_E}$

$0.98 = \frac{I_c}{3\times10^{-3}A}$

$\therefore I_c = 2.94\times10^{-3}A$ تيار الجامع

$I_B = I_E - I_c$

$= 3\times10^{-3}A - 2.94\times10^{-3}A$

$I_B = 0.06\times10^{-3}A$ تيار القاعدة

هي جهاز (نبيطة device) صغير جدا يستعمل للسيطرة على الإشارات الكهربائية في كثير من الأجهزة الكهربائية كالحاسبات الالكترونية ، أجهزة التلفاز ، الهاتف الخلوي ، وبعض اجزاء السيارات ، الأقراص المدمجة والمركبات الفضائية، لاحظ الشكل (41).

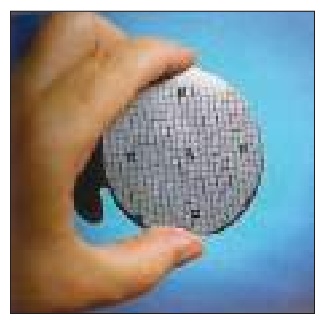






شكل (41)

تحتوي الدوائر المتكاملة الآلاف من العناصر المعقدة التي تصنع بعملية واحدة، إذ تصنع عناصرها على شريحة صغيرة (chip) منفردة من رقاقة (wafer) من السيليكون (Si) وهذه العناصر تشمل الثنائيات البلورية والترانزستورات والمقاومات والمكثفات لتكوّن منظومات الكترونية تؤدي وظيفة معينة.

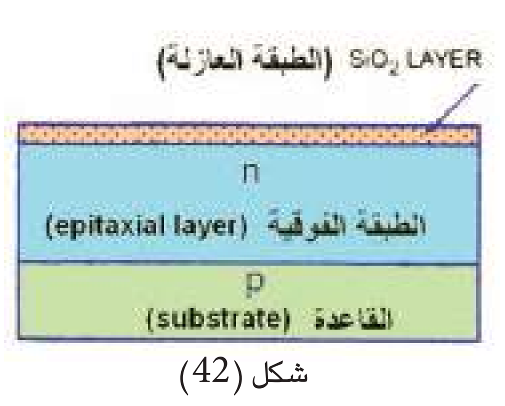


إن عملية تصنيع الدوائر المتكاملة تعتمد على ما يسمى بعملية تقنية الانتشار في المستوى الواحد (diffused planar process) حيث يتم تنفيذ جميع الخطوات العملية اللازمة لتصنيعها على سطح واحد لشريحة السيلكون.

ان مراحل تصنيع عناصر الدوائر المتكاملة يتم بشكل اساسي بانتاج ثلاث طبقات رئيسة لاحظ الشكل (42) هي:

1. **الطبقة الأساسية (substrate):** وهي عملية انماء بلورة السيليكون الاسطوانية الشكل ومن ثم تقطيعها الى رقاقات (wafer) دائرية تسمى بطبقة الأساس. وهذه الطبقة هي عبارة عن شبه موصل نوع (P) وتمثل الجسم الذي يرتكز عليه جميع أجزاء الدائرة المتكاملة.

2. **الطبقة الفوقية نوع (N) Epitaxial layer:** تصنع الطبقة الفوقية (N) عن طريق وضع رقاقات السليكون في فرن حراري خاص وبتسليط غاز (هو مزيج من ذرات السليكون وذرات مانحة خماسية التكافؤ على الرقاقات). يكوّن هذا المزيج طبقة رقيقة شبه موصلة نوع (N) تسمى الطبقة الفوقية.



شكل (42)

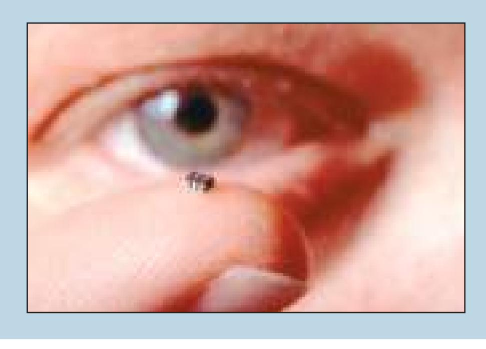
3. الطبقة العازلة The Insulting layer: بعد ان تنمّى الطبقة الفوقية (n) على طبقة الأساس (P) توضع الرقاقات في فرن حراري خاص يحتوي غاز الأوكسجين وبخار الماء في درجة حرارة معينة فتتكون طبقة من ثنائي اوكسيد السليكون (SiO_2) والتي تمثل الطبقة العازلة.

وبعد تصنيع هذه الطبقات الثلاث تكون الرقاقة جاهزة لإجراء العمليات التقنية الأخرى اللازمة لتصنيع عناصر الدائرة المتكاملة.

تتميز الدوائر المتكاملة عن الدوائر الكهربائية الاعتيادية (المنفصلة) بكونها صغيرة الحجم وتستهلك قدرة قليلة جداً وسريعة العمل وخفيفة الوزن ورخيصة فضلا على ان الدوائر المتكاملة تؤدي الكثير من الوظائف التي تؤديها الدوائر الكهربائية العادية التي تتألف من أجزاء منفصلة وصلت.



إن شريحة دائرة متكاملة حجمها صغير جدا يمكن أن تحتوي على ملايين الترانزستورات.



س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1– إذا كان الثنائي البلوري pn محيزا باتجاه أمامي فعند زيادة مقدار فولطية الانحياز الأمامي، فان مقدار التيار الامامي:

a – يزداد   b– يقل   c– يبقى ثابتا   d– يزداد ثم ينقص

2– عند زيادة حاجز الجهد في الثنائي البلوري pn المحيز انحيازاً أمامياً، فان مقدار التيار الامامي في دائرته:

a– يزداد   b– يقل   c– يبقى ثابتا   d– يزداد ثم ينقص

3– الالكترونات الحرة في شبه الموصل النقي وبدرجة حرارة الغرفة تشغل :

a– حزمة التكافؤ   b– ثغرة الطاقة المحظورة   c– حزمة التوصيل   d– المستوى القابل

4– تتولد الازواج الكترون – فجوة ، في شبه الموصل النقي ، بوساطة:

a– إعادة الالتحام   b– التأين   c– التطعيم   d– التأثير الحراري

5– التيار المنساب في شبه الموصل النقي ناتج عن:

a– الالكترونات الحرة فقط   b– الفجوات فقط

c– الأيونات السالبة   d– الالكترونات والفجوات كليهما

6– في شبه الموصل نوع n وعند درجة حرارة الغرفة، يكون:

a– عدد الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل يساوي عدد الفجوات في حزمة التكافؤ

b– عدد الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل أكبر من عدد الفجوات في حزمة التكافؤ

c– عدد الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل أقل من عدد الفجوات في حزمة التكافؤ

d– جميع الاحتمالات السابقة، يعتمد ذلك على نسبة الشوائب

7– تتولد منطقة الاستنزاف في الثنائي pn بوساطة:

a– إعادة الالتحام   b– التناضح   c– التأين   d– جميع الاحتمالات السابقة (a ، b ،c)

8– الثنائي pn الباعث للضوء (LED) ،يبعث الضوء عندما:

a– يحيز باتجاه امامي   b– يحيز باتجاه عكسي

c– يكون حاجز الجهد عبر الملتقى كبيرا   d– يكون بدرجة حرارة الغرفة

9– تيار الباعث I_E في دائرة الترانزستور، يكون دائما:

a– أكبر من تيار القاعدة   b– أقل من تيار القاعدة

c– أكبر من تيار الجامع   d– الأجوبة (a و c)

10- منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري في المنطقة n تحتوي فقط:

a- الكترونات حرة   b- فجوات   c- أيونات موجبة   d- ايونات سالبة

11- يسلك السليكون سلوك العازل عندما يكون :

a- نقياً   b- في الظلمة   c- بدرجة الصفر المطلق   d- الأجوبة الثلاث (a،b،c) مجتمعة

12- يزداد المعدل الزمني لتوليد الأزواج الكترون – فجوة في شبه الموصل:

a- بادخال شوائب خماسية التكافؤ   b- بادخال شوائب ثلاثية التكافؤ

c- بارتفاع درجة الحرارة   d- ولا واحد مما سبق

13- منطقة القاعدة في الترانزستور تكون:

a- واسعة وقليلة الشوائب   b- واسعة وكثيرة الشوائب

c- رقيقة وقليلة الشوائب   d- رقيقة وكثيرة الشوائب

14- ربح التيار (α) في المضخم pnp ذي الباعث المشترك هو نسبة :

a- $\frac{I_E}{I_c}$ b- $\frac{I_B}{I_C}$ c- $\frac{I_c}{I_B}$ d- $\frac{I_c}{I_E}$

15- فرق الطور بين الإشارة الخارجة والإشارة الداخلة في المضخم pnp ذي القاعدة المشتركة يساوي:

a- صفراً   b- 90^0 c- 180^0 d- 270^0

16- ربح التيار (α) في دائرة الترانزستور pnp المستعمل كمضخم ذي القاعدة المشتركة يساوي نسبة :

a- $\frac{I_E}{I_B}$ b- $\frac{I_c}{I_E}$ c- $\frac{I_c}{I_B}$ d- $\frac{I_B}{I_E}$

17- يقع مستوى فيرمي في شبه الموصل نوع N عند درجة حرارة (0K).

a- أسفل المستوى المانح.   b- منتصف المسافة بين قعر حزمة التوصيل والمستوى المانح.

c- في منتصف ثغرة الطاقة.   d- منتصف المسافة بين قمة حزمة التكافؤ والمستوى المانح.

18- مستوى فيرمي هو:

a- معدل قيمة كل مستويات الطاقة.   b- مستوى الطاقة في قمة حزمة التكافؤ.

c- أعلى مستوى طاقة مشغول عند 0^oC.   d- أعلى مستوى طاقة مشغول عند 0K.

س2 ضع كلمة صح أو خطأ أمام كل عبارة من العبارات التالية، مع تصحيح الخطأ،دون ان تغير ما تحته خط:

1- بلورة السليكون نوع n، تكون سالبة الشحنة.

2- منطقة الاستنزاف في الثنائي pn تحتوي أيونات موجبة في المنطقة p وايونات سالبة في المنطقة n.

3- تزداد قابلية التوصيل الكهربائي في شبه الموصل النقي بارتفاع درجة حرارته.

4- الثنائي الباعث للضوء يحيّز باتجاه أمامي.

5- مقدار ثغرة الطاقة المحظورة في الجرمانيوم (1.1eV)، بدرجة حرارة 300 k .

6- يزداد مقدار حاجز الجهد في الثنائي البلوري عندما يكون محيّزا بالاتجاه الامامي.

7- يحيّز الباعث في الترانزستور دائما بانحياز امامي .

8- في الموصلات وعند درجة 0k تكون مستويات الطاقة التي تقع تحت مستوي فيرمي تكون مشغولة بالالكترونات.

9- ربح القدرة في المضخم pnp ذي القاعدة المشتركة يكون كبيراً جدا.

10- تتولد الازواج الكترون فجوة في شبه الموصل نتيجة عملية أعادة الالتحام بين الالكترونات والفجوات.

11- منطقة القاعدة في الترانزستور تكون دائما رقيقة ونسبة الشوائب قليلة.

12- في الترانزستور npn ذو القاعدة المشتركة يكون تيار الباعث أكبر من تيار الجامع.

13- في الترانزستور npn ذو الباعث المشترك تكون الاشارتين الخارجة والداخلة بالطور نفسه.

14- بلورة الجرمانيوم نوع p تكون الفجوات هي حاملات الشحنة الاغلبية .

س3 ما الفرق بين كل مما يلي:

1- الأيون الموجب والفجوة في أشباه الموصلات.

2- الثنائي الباعث للضوء والثنائي المتحسس للضوء.

3- شبه موصل نوع n وشبه موصل نوع p من حيث (a - نوع الشائبة المطعمة فيه. b- حاملات الشحنة الاغلبية وحاملات الشحنة الاقلية. c- المستوي الذي تولده كل شائبة وموقعه).

4- الباعث والجامع في الترانزستور (من حيث : a - جمع حاملات التيار اوارسالها b - طريقة الانحياز c- ممانعة الملتقى d- نسبة الشوائب)

س4 علل ما يأتي:

a- سبب تولد منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري pn؟

b- ممانعة ملتقى (الجامع-قاعدة) في الترانزستور تكون عالية، بينما ممانعة ملتقى الباعث-قاعدة واطئة؟

c- عند درجة حرارة الصفر المطلق وفي الظلمة تكون حزمة التوصيل في شبه الموصل النقي خالية من الالكترونات؟

d- انسياب تيار كبير في دائرة الثنائي البلوري pn عندماتزداد فولطية الانحياز بالاتجاه الأمامي؟

e- يحيّز الثنائي البلوري pn المتحسس للضوء باتجاه عكسي قبل سقوط الضوء عليه؟

f- الايون الموجب المتولد عند اضافة شائبة من نوع المانح إلى بلورة شبه موصل نقية لايعد من حاملات الشحنة؟

س5 ما المقصود بكل مما يأتي:

a- مستوي فيرمي.

b- المستوي المانح وكيف يتولد؟.

c- منطقة الاستنزاف في الثنائي البلوري pn. وكيف تتولد؟

d- الفجوة في شبه الموصل. وكيف تتولد؟

e- الزوج الكترون - فجوة وكيف يتولد؟

س6 علامَ يعتمد مقدار كل مما يأتي:

a- حاجز الجهد الكهربائي في الثنائي البلوري pn.

b- معدل توليد الازواج الكترون- فجوة في شبه الموصل النقي؟

c- عدد الالكترونات الحرة المنتقلة إلى حزمة التوصيل في بلورة شبه موصلة نوع n بثبوت درجة الحرارة؟

d- التيار المنساب في دائرة الثنائي البلوري pn المتحسس للضوء؟

س7 ما ذا يحصل للتيار المتناوب لو وضع في طريقه ثنائي بلوري pn ؟

س8 بعد تطعيم بلورة شبه الموصل (مثل السليكون): بشوائب ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) مانوع البلورة التي من نحصل عليها. أتكون شحنتها موجبة؟ ام سالبة ؟ ام متعادلة كهربائيا؟

س9 في دائرة الترانزستور ذو الباعث المشترك إذا كان تيار الباعث يساوي $I_E = (0.4)\ mA$ وتيار القاعدة $I_B = (40)\ \mu A$ ومقاومة الدخول $R_{in} = 100\Omega$ ومقاومة الخروج $R_{out} = 50k\ \Omega$.

أحسب:

1- ربح التيار $(\propto)$ 2- ربح الفولطية (A_v) 3- ربح القدرة (G)

س10 في دائرة الترانزستور ذي الباعث المشترك. احسب ربح التيار $(\propto)$ وتيار الباعث I_E إذا كان تيار القاعدة يساوي $I_B = (50)\ \mu A$ وتيار الجامع يساوي $I_C = (3.65)\ mA$

الفصل الثامن 8

الاطياف الذرية والليزر

Atomic spectrums and Laser







مفردات الفصل:

الاهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يعلل وضع أنموذج ذري.
- يعرف أنموذج بور للذرة.
- يذكر بنود أنموذج بور للذرة.
- يعلل فشل أنموذج رذرفورد للذرة.
- يعرف طيف ذرة الهيدروجين.
- يعرف مستويات الطاقة.
- يذكر أنواع الأطياف.
- يوضح كيفية توليد الأشعة السينية.
- يوضح تأثير كومبتن.
- يحل مسائل رياضية.
- يعرف ما الليزر والميزر.
- يذكر قانون بولتزمان.
- يعرف التوزيع المعكوس.
- يعرف آلية عمل الليزر.
- يعدد أنواع الليزرات.

المصطلحات العلمية	
انموذج بور للذرة	Bohr Model of the Atom
مستويات الطاقة	Energy Levels
مستوى متهيج	Excited State
مستوى ارضي	Ground State
طيف ذرة الهيدروجين	Spectrum of Hydrogen Atom
الأطياف	Spectra
الطيف المستمر	Continuous Spectrum
الطيف الخطي	Line Spectrum
الأشعة السينية	X-rays
تأثير كومبتن	Compton Effect
الميزر	Maser
الليزر	Laser
الامتصاص المحتث	Induced Absorption
الانبعاث التلقائي	Spontaneous emission
الانبعاث المحفز	Stimulated emission
الضخ	Pumping
ليزر الاكسايمر	Excimer Laser
ليزر الحالة الصلبة	Solid-state Laser
توزيع بولتزمان	Boltzmann Distribution
التوزيع المعكوس	Inversion population
الليزرات الغازية	Gas Lasers
ليزر الياقوت	Ruby Laser
منظومة رباعية المستوى	Four-Level system
منظومة ثلاثية المستوى	Three-Level system

1-8 مقدمة Introduction

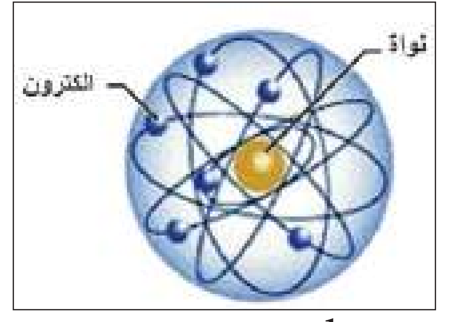
لقد أهتم العلماء بدراسة التركيب الذري للمادة فوضع العالم ثومسون نموذجاً يصف فيها ان الذرة كرة مصمتة متناهية في الصغر موجبة الشحنة يتوزع بداخلها عدد من الالكترونات السالبة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائيا ثم توالت المشاهدات والمعلومات حول تركيب المادة وطبيعة الشحنة الكهربائية فوضعت نماذج ذرية اخرى من قبل العلماء مثل دالتون و رذرفورد وبور ومع نهاية القرن التاسع عشر تركزت معظم الدراسات الطيفية على ذرة الهيدروجين باعتبارها ابسط الذرات تركيبا ومن ثم فأي نموذج يوضع للذرة عليه تفسير كل الحقائق والمعلومات حول سلوك الذرة.

2-8 مستويات الطاقة وأنموذج بور للذرة

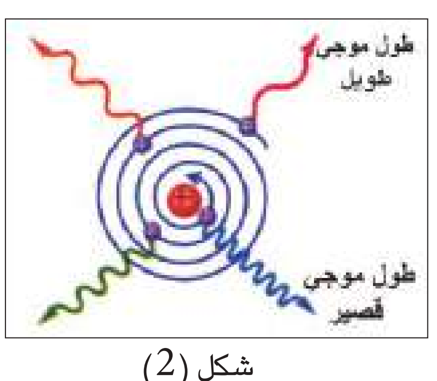
اقترح العالم رذرفورد عام 1911 انموذجا للذرة اذ أفترض بان الذرة تتكون من نواة موجبة متمركزة في وسط الذرة تدور حولها الالكترونات لاحظ الشكل (1) وقد فشل نموذج رذرفورد للذرة للاسباب الآتية:

1- عندما يدور الالكترون في الذرة حول النواة يغير اتجاه حركته باستمرار، لذا فهو جسيم معجل وتبعاً للنظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية فان اي شحنة متحركة بتعجيل تبعث اشعاعاً كهرومغناطيسياً ولذلك يجب ان يفقد الالكترون الدائر حول النواة داخل الذرة جزءاً من طاقته في اثناء الدوران اي انه يخسر طاقة بصورة مستمرة مادامت الحركة مستمرة ومن ثم يجب ان ينتهي بحركة حلزونية مقترباً من النواة في زمن قصير ومن ثم تنهارالبنية الذرية، لاحظ الشكل (2).

2- عندما تتناقص طاقة الالكترونات تدريجيا يتولد طيف مستمر بينما اثبتت التجارب ان طيف ذرة الهيدروجين هو طيف خطي.



شكل (1) انموذج رذرفورد للذرة

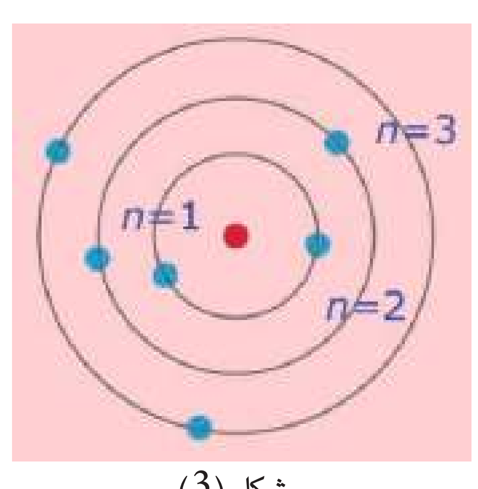


شكل (2)

لكن في الحقيقة ان شيئا من هذا القبيل لايحدث مطلقاً لان الذرات موجودة وممكن ان تبعث اشعاعا باطوال موجية ذات قيم متميزة ودقيقة جداً كما ان الذرة تحت الظروف الطبيعية تمثل تركيباً مستقراً لاتبعث اي اشعاع الا تحت شروط خاصة مثل تسخين المواد او تعريضها لجهد كهربائي في الانابيب المفرغة.

ولقد بقي وضع الالكترونات في الذرة وعدم انهيارها محيرا للعلماء اذ استمر البحث والاستقصاء عن سبب عدم انهيار الذرة الى ان درست اطياف الضوءالمنبعث عن ذرات العناصر المثارة واكتشاف نظرية الكم إذ اقترح العالم بور Bohr عام 1913 نموذجا جديدا عن التركيب الذري ومن فرضياته:

1- تدور الالكترونات سالبة الشحنة حول النواة بمدارات محددة المواقع تمثل مستويات الطاقة دون ان تشع طاقة لاحظ الشكل (3). ويمتلك الالكترون أقل طاقة عندما يكون في اقرب مستوى من النواة وعندها تكون الذرة مستقرة وان بقاء الالكترون في ذلك المستوى يستوجب امتلاكه طاقة وزخم مناسبين لذلك المستوى.

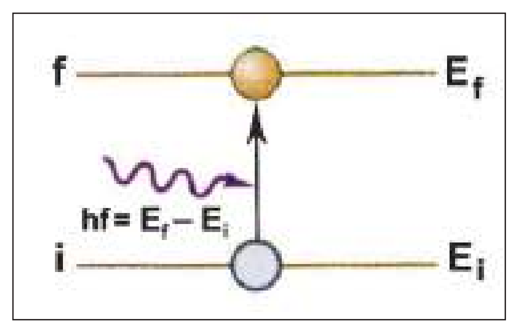


شكل (3)

2- الذرة متعادلة كهربائياً إذ إن شحنة الالكترونات تساوي شحنة النواة الموجبة.

3- ان الذرة لاتشع طاقة بسبب حركة الالكترون في مداره المحدد وتكون الذرة مستقرة.

4- عندما يكتسب الالكترون كماً من الطاقة فانه يقفز من مستوى استقراره اذ تكون طاقته فيه (E_i) الى مستوى طاقة اعلى (E_f) عندها تكون الذرة متهيجة (excited) ثم تعود الذرة الى حال استقرارها وذلك بعودة الالكترون الى مستوى استقراره باعثا فوتوناً تردده (f) لاحظ الشكلين (4 ، 5).... يعطى بالعلاقة الآتية:



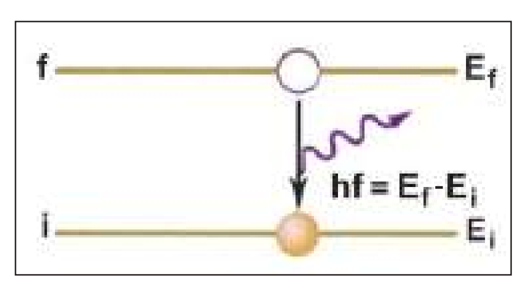
شكل (4) ذرة انتقلت من مستوى واطئ الطاقة الى مستوى طاقة اعلى

أي إن: $hf = E_f - E_i$

إذ إن:

h = ثابت بلانك = 6.63×10^{-34} J.s

f = التردد



شكل (5) ذرة متهيجة تبعث فوتون برجوعها الى مستوى الاستقرار

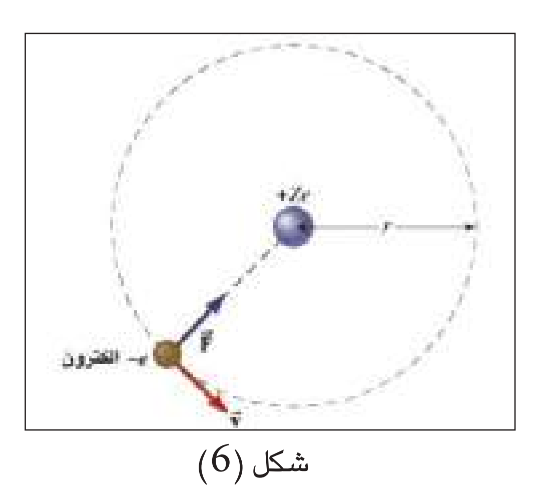
5- في مجال الذرة يمكن تطبيق قانون كولوم على الشحنات الكهربائية والقانون الثاني لنيوتن على القوى الميكانيكية لاحظ الشكل (6).

6- يمتلك الالكترون زخماً زاوياً (L=mvr) في مداره المحدد يساوي اعداداً صحيحة من $(h/2\pi)$

أي إن: $L_n = n(h/2\pi)$

$m v_n r_n = n(h/2\pi)$

إذ إن : n=1،2،3،4،5،. . . . ويمثل العدد الكمي الرئيس.

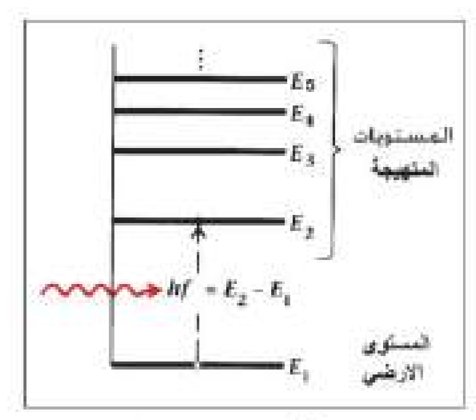


شكل (6)

3-8 طيف ذرة الهيدروجين Hydrogen Atom spectrum

درس بور طيف ذرة الهيدروجين الاعتيادي لانها ابسط ذرة، اذ تحتوي الكتروناً واحداً فقط وخرج بكثير من المشاهدات والاستنتاجات شكلت اساس نظريته عن ذرة الهيدروجين.

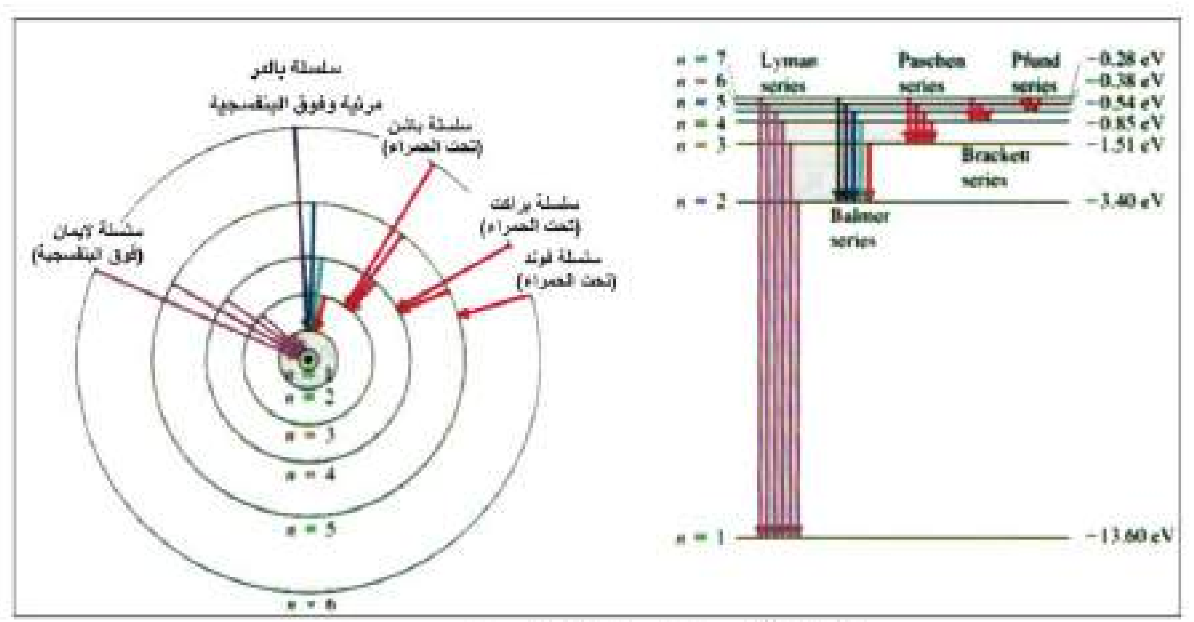
فعند اثارة ذرة الهيدروجين ينتقل الكترونها من المستوى الواطئ الطاقة الى مستوى اعلى طاقة ولا يبقى في مستوى الطاقة الاعلى الا لمدة زمنية قليلة نحو ($10^{-8}s$) ثم يهبط الالكترون الى مستوى الطاقة الواطئ.



شكل (7) مستويات الطاقة

ان اوطأ مستوى طاقة للذرة E_1 يسمى بالمستوى الارضي للذرة في حين تسمى المستويات العليا $E_2, E_3, E_4, \ldots$ بالمستويات المتهيجة (states excited) لاحظ الشكل (7).

ان جميع طاقات هذه المستويات سالبة لذلك لايمتلك الالكترون طاقة كافية تجعله يهرب من الذرة.



شكل (8) مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين

1- فعند انتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى المستوى الأول للطاقة E_1 (n=1) تنتج سلسلة لايمان (Lyman series) ومدى تردداتها تقع في المنطقة فوق البنفسجية (uv-region)، وهي سلسلة غير مرئية.

2- وعند انتقال الكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الثاني E_2 (n=2) تنتج سلسلة بالمر (Balmer series) ومدى تردداتها تقع في المنطقة المرئية وتمتد حتى المنطقة فوق البنفسجية.

3- وعند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الثالث (E_3) $(n=3)$ تنتج سلسة باشن (Baschen series) ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء. وهي سلسلة غير مرئية.

4- وعند انتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا للطاقة الى مستوى الطاقة الرابع (E_4) $(n=4)$ تنتج سلسلة براكت (Brackett series) وهي سلسلة غير مرئية، ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء.

5- وعند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة العليا الى مستوى الطاقة الخامس (E_5) $(n=5)$ تنتج سلسلة فوند (Pfund series) وهي سلسلة غير مرئية، ومدى تردداتها تقع في المنطقة تحت الحمراء.

4-8 الاطياف Spectra

عند سقوط ضوء الشمس مثلا على موشور زجاجي فإنه يتحلل الى مركباته السبعة و التي تسمى بالوان الطيف الشمسي وهذا ما لاحظه العالم نيوتن في اواخر القرن السابع عشر وتسمى سلسلة الترددات الضوئية الناتجة من تحليل حزمة من الضوء الابيض بوساطة موشور (بالطيف).

تعد دراسة وتفسير الطيف الذري لطبيعة المادة وبنية ذراتها وجزيئاتها من اهم الدراسات التي ادت الى معرفة تركيبها الذري والجزيئي ويتم ذلك عن طريق تحليل الضوء الصادر عن تلك المواد ودراسة طيفها باستعمال جهاز المطياف لاحظ الشكل (9).



شكل (9)

وأهم المصادر الضوئية المستعملة في دراسة الاطياف هي:

1- مصادر حرارية وهي المصادر التي تشع ضوءاً نتيجة ارتفاع درجة حرارتها مثل الشمس ومصابيح التنكستن والاقواس الكهربائية.

2- مصادر تعتمد على التفريغ الكهربائي خلال الغازات مثل انابيب التفريغ الكهربائي عند ضغط منخفض.

Types of spectra انواع الاطياف

لعلك تتسائل عن انواع الاطياف ؟

وما الاختلاف بين طيف واخر وكيف نحصل على كل منهما ؟

للاجابة على هذا التساؤل نجري النشاط الآتي:

نشاط

انواع الاطياف

ادوات النشاط: موشور زجاجي ، وحاجز ذو شق للحصول على حزمة متوازية تسقط على الموشور، شاشة بيضاء، أنابيب تفريغ تحتوي غاز (مثل النيون ، الهيدروجين ، بخار الزئبق)، مصباح كهربائي خويطي، مصدر للتيار الكهربائي.

خطوات النشاط:

- نربط الانبوب الذي يحتوي الهيدروجين بالدائرة الكهربائية المناسبة لكي يتوهج غاز الهيدروجين. لاحظ الشكل (10).
- ضع الموشور الزجاجي في مسار الحزمة المنبعثة من انبوب غاز الهيدروجين.

ثم نغير موقع وزاوية سقوط الحزمة المنبعثة حتى نحصل على أوضح طيف ممكن على الشاشة.

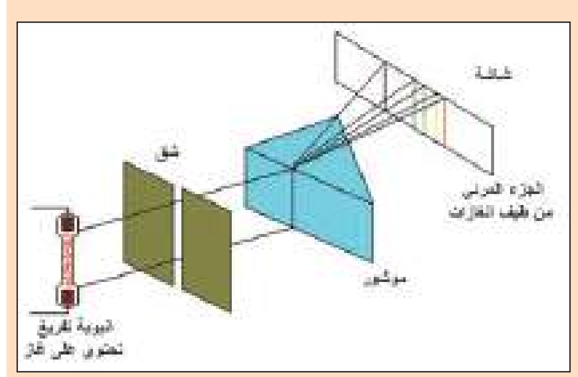
- لاحظ شكل ولون الطيف الظاهر على الشاشة.
- كرر الخطوات السابقة باستعمال انابيب الغازات الاخرى والمصباح الكهربائي الخويطي.
- لاحظ شكل ولون الاطياف المختلفة على الشاشة.

نستنتج من النشاط ان الطيف الناتج من تحلل الاشعاعات المنبعثة من الغازات الاخرى يختلف باختلاف نوع الغاز.

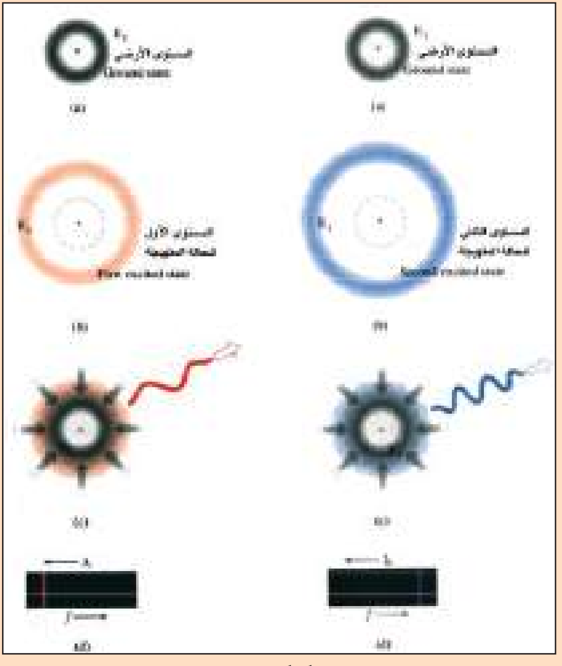
هناك صنفين من الاطياف:

1- أطياف الانبعاث : (Emission spectra)

2- اطياف الامتصاص (Absorption spectra) لاحظ الشكل (11).



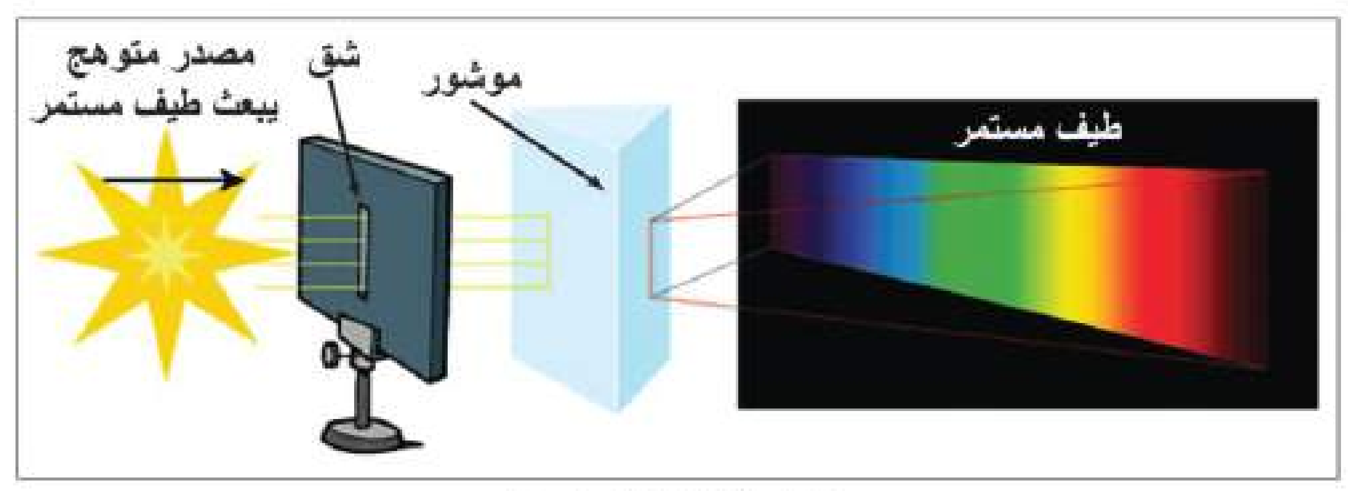
شكل (10)


شكل (11) (للاطلاع)

1- **اطياف الانبعاث** هي اطياف المواد المتوهجة وتقسم على:

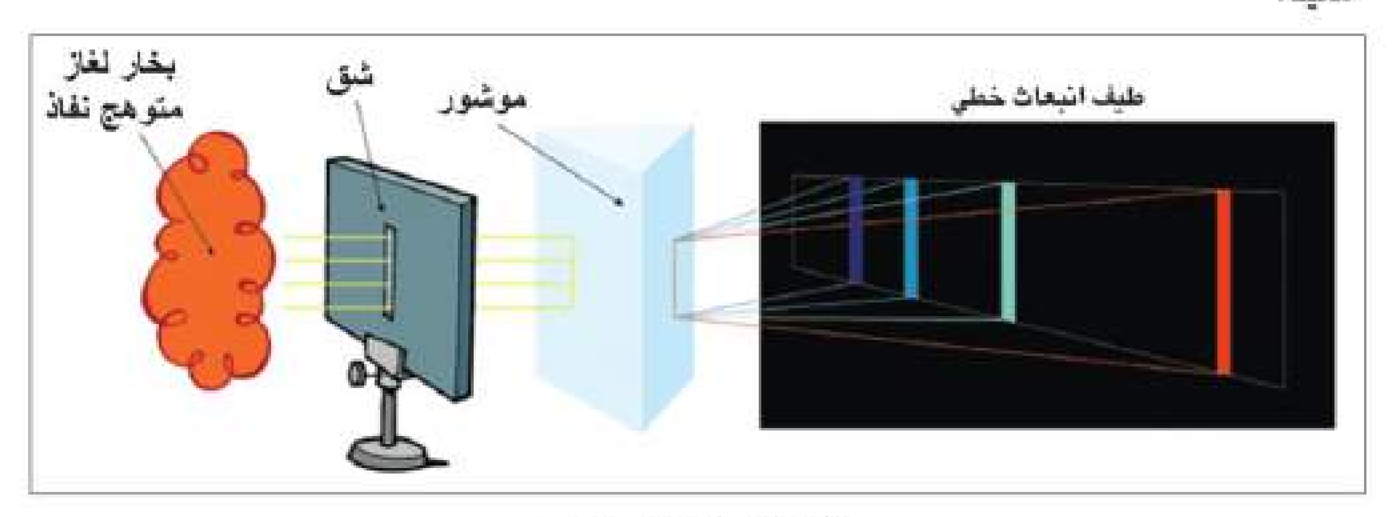
a- **الطيف المستمر (continuous spectrum):** نحصل عليه من الاجسام الصلبة المتوهجة والسائلة المتوهجة او الغازات المتوهجة عند ضغط عالٍ جدا. الشكل (12) يوضح طيف مستمر يحتوي مدى واسع من الترددات.

فالطيف المنبعث من خويط التنكستن لمصباح كهربائي متوهج الى درجة البياض هو **طيف مستمر (continuous spectrum)**، ويتكون هذا الطيف من مدى واسع من الاطوال الموجية الواقعة ضمن المدى المرئي المتصلة مع بعضها.



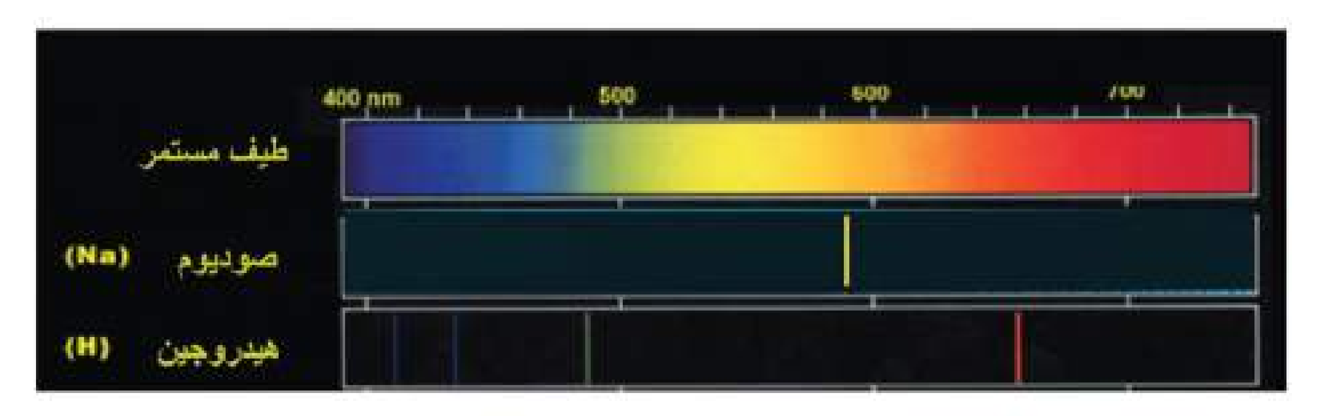
شكل (12) الطيف المستمر

b- **الطيف الخطي:** نحصل عليه من توهج الغازات والابخرة عند الضغط الاعتيادي او الواطئ. لاحظ الشكل (13). والذي يوضح مجموعة من الخطوط الملونة البراقة على خلفية سوداء وان كل خط منه يمثل طولاً موجياً معيناً.



شكل (13) الطيف الخطي

فالطيف الخطي البراق للصوديوم مثلا متكون من خطين اصفرين براقيين قريبين جدا من بعضهما يقعان في المنطقة الصفراء من الطيف المرئي، وقد يظهر الخطان كخط واحد ان لم تكن القدرة التحليلية للمطياف كبيرة. اما الطيف الخطي للهيدروجين فيتكون من اربعة خطوط براقة بالالوان (احمر ، اخضر، نيلي ، بنفسجي) لاحظ الشكل (14).

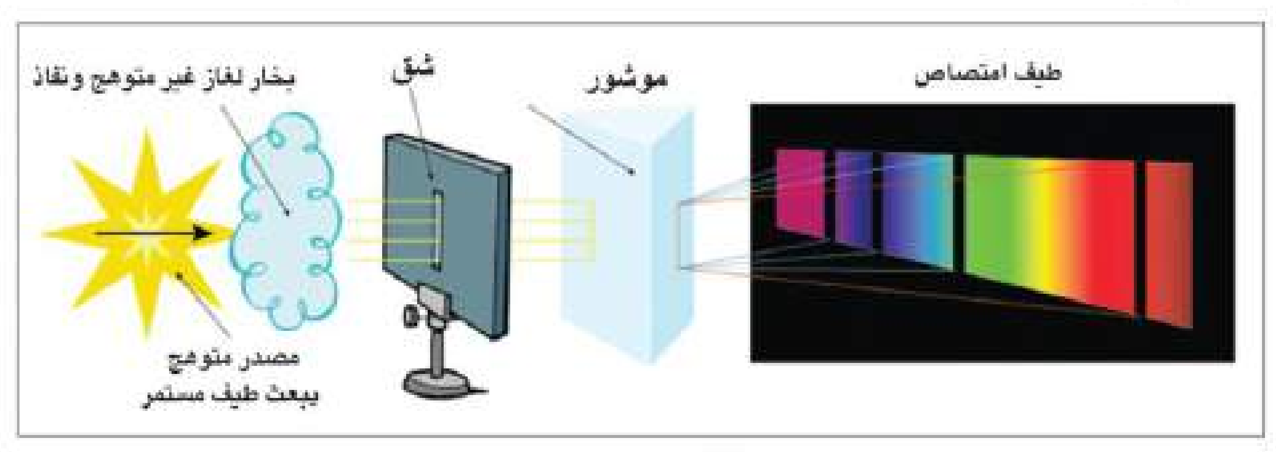


شكل (14) للأطلاع

وقد وجد ان لكل عنصر طيفاً خطياً خاصاً به اي ان الطيف الخطي هو صفة مميزة واساسية للذرات.
لقد أدت دراسة ألاطياف إلى تطوير طرائق الكشف عن وجود عنصر مجهول في مادة ما او معرفة مكونات سبيكة، وذلك بأخذ عينة من تلك المادة وتبخيرها في قوس كاربوني لجعلها متوهجة ثم يسجل طيفها الخطي بوساطة المطياف ويقارن الطيف الحاصل مع الاطياف القياسية الخاصة بطيف كل عنصر.

C- الطيف الحزمي: طيف يحتوي حزمة اوعدداً من الحزم الملونة على ارضية سوداء وتتكون كل حزمة من عدد كبير من الخطوط المتقاربة وهو صفة مميزة للمواد جزيئية التركيب. ويمكن الحصول عليه من مواد متوهجة جزيئية التركيب كغاز ثنائي اوكسيد الكاربون في انبوبة تفريغ تحتوي املاح الباريوم او املاح الكالسيوم والمتوهجة بوساطة قوس كاربوني.

2- اطياف الامتصاص Absorption spectra : طيف الامتصاص هو طيف مستمر تتخلله خطوط او حزم معتمة، فعندما يمر الضوء المنبعث من مصدر طيفه مستمر خلال بخار غير متوهج (او مادة نفاذة) يمتص من الطيف المستمر الاطوال الموجية التي يبعثها فيما لو كان متوهجاً وعندها نحصل على طيف امتصاص لاحظ الشكل (15).



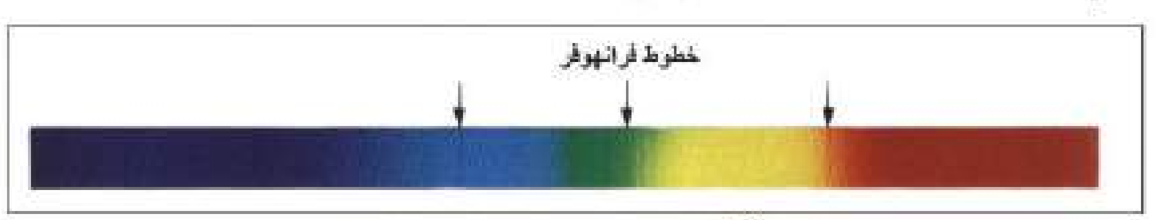
شكل (15) طيف الامتصاص

ومن الجدير بالذكر ان الجو الغازي المحيط بالشمس يمتص قسماً من الطيف المستمر لها (يمتص الاطوال الموجية التي يبعثها فيما لو كان متوهج)، وقد لاحظ فرانهوفر خطوطاً سوداً في طيف الشمس المستمر سُميت بخطوط فرانهوفر نسبة لمكتشفها العالم فرانهوفر والذي اكتشف ما يقرب من 600 خط منها.

ان سبب ظهور الخطوط السود في الشمس يعود الى ان الغازات حول الشمس وفي جو الارض الاقل توهجاً من غازات باطن الشمس تمتص من الطيف المستمر للشمس الاطوال الموجية التي تبعثها هذه الغازات فيما لو كانت متوهجة وهذا مايسمى **بطيف الامتصاص الخطي للشمس**. ومن هذه الخطوط أمكن معرفة الغازات التي تمتص هذا الضوء. لاحظ الشكل (16).

هل تعلم

لقد اكتشف عنصر الهليوم من طيف الامتصاص الخطي للشمس قبل اكتشافه على سطح الارض.



شكل (16) طيف الامتصاص الخطي للشمس

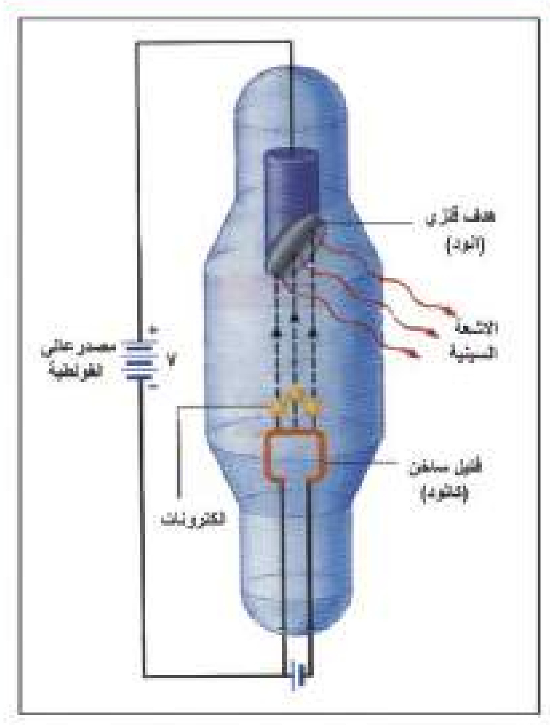
6-8 الاشعة السينية X - ray

اكتشفت الاشعة السينية عام 1895 من قبل العالم رونتجن مصادفة عندما كان يدرس كهربائية الغازات والتوصيل الكهربائي للالكترونات داخل أنابيب مفرغة جزئيا من الهواء.

الاشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية غير مرئية اطوالها الموجية قصيرة جدا نحو nm (0.001 - 10). لاتتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية لانها ليست دقائق مشحونة.

يمكن الحصول على الاشعة السينية باستعمال انبوبة زجاجية مفرغة من الهواء، لاحظ الشكل (17).

تحتوي على قطبين احدهما سالب (كاثود Cathode) وهو فتيل تنبعث منه الالكترونات عند تسخينه والاخر قطب موجب (أنود Anode) وهو هدف فلزي عادة يميل بزاوية معينة مع اتجاه حركة الالكترونات المعجلة. ونتيجة لتصادم هذه الالكترونات تتولد حرارة عالية لذا يصنع الهدف من مادة درجة انصهارها عالية جدا مثل التنكستن والمولبدينيوم كما يختار الهدف من مادة ذات عدد ذري كبير وذلك لزيادة كفاءة الاشعة السينية وتستعمل وسائل تبريد خاصة لتبريد الهدف نتيجة تولد الحرارة العالية.



شكل (17) جهاز توليد الاشعة السينية

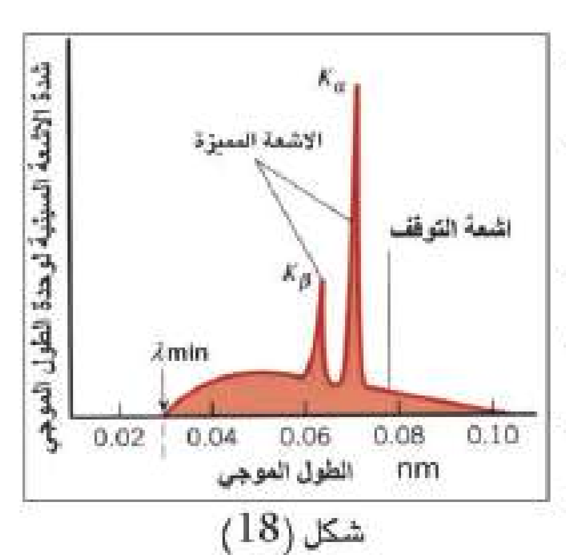
هل تعلم

اكتشف العالم وليم رونتجن الاشعة السينية ولانه كان يجهل طبيعتها، فقد أطلق على هذه الأشعة اسم أشعة X.

نوعا طيف الاشعة السينية:

تُعد الاشعة السينية ظاهرة كهروضوئية عكسية لان الاشعة السينية تتولد نتيجة لتحول طاقة الالكترونات المعجلة المنبعثة من الكاثود والساقطة على الهدف الى فوتونات الاشعة السينية.

يبين الشكل (18) احد الاطياف النموذجيةطيف للأشعة السينية الناجمة عن تصادم الالكترونات مع الهدف، إذ نجد أن شدة الاشعة السينية تتناسب طرديا مع عدد الفوتونات المنبعثة عند طول موجي معين وأن طيف الاشعة السينية يتألف من نوعين، هما الطيف المستمر والطيف الخطي.



شكل (18)

1- الاشعة السينية ذات الطيف الخطي الحاد: وتسمى احيانا (الاشعة السينية المميزة Characteristic x-ray)

عند سقوط الالكترونات المعجلة على ذرات مادة الهدف فإن هذه الالكترونات تنتزع أحد الالكترونات من أحد المستويات الداخلية للهدف ويغادر الذرة نهائيا فتحصل حالة التأين، أو قد يرتفع الى مدار اكثر طاقة وتحصل حالة التهيج، وفي كلا الحالين تصبح الذرة قلقة (متهيجة) فتحاول العودة الى وضع الاستقرار، وعندما يهبط احد الالكترونات من المستويات العليا (ذو الطاقة العالية) الى مستوى الطاقة الذي انتزع منه الالكترون يبعث طاقة بشكل فوتون للاشعة السينية طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين E_2 ، E_1 أي أن :

$$hf = E_2 - E_1$$

وهذا الطيف صفة مميزة لذرات مادة الهدف.

2- الاشعة السينية ذات الطيف المستمر Continuous spectra: ينتج هذا الطيف عن أصطدام الالكترونات المعجلة مع ذرات مادة الهدف مما يؤدي الى تباطؤ حركتها بمعدل كبير بتأثير المجال الكهربائي لنوى مادة الهدف ونتيجة لهذا التباطؤ فإن الالكترونات تفقد جميع طاقتها وتظهر بشكل فوتونات الاشعة السينية بترددات مختلفة.

ان اعظم تردد لفوتون الاشعة السينية يتوقف على فرق الجهد (V) المسلط على طرفي انبوب الاشعة السينية والذي يعجل الالكترون فيكسبه طاقة حركية عظمى (KE_{max}) على وفق العلاقة الآتية:

$$KE_{max} = e\,V$$

إذ إن:

KE_{max} = الطاقة الحركية العظمى للالكترون

e = شحنة الالكترون

V = فرق الجهد

وعند تصادم الالكترون بالهدف تتحول هذه الطاقة الى طاقة اشعاعية لفوتون الاشعة السينية (كم الاشعة السينية).

$$(KE)_{max} = Ve$$

ومنها نحصل على:

$$hf_{max} = Ve \Rightarrow f_{max} = \frac{Ve}{h}$$

ومن العلاقة السابقة يمكننا الحصول على:

إذ إن: f_{max} يمثل أعلى تردد للفوتون ويقابله أقصر طول موجي λ_{min} ، لاحظ الشكل (18).

$$f_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}}$$

ومن العلاقتين السابقتين يمكننا الحصول على:

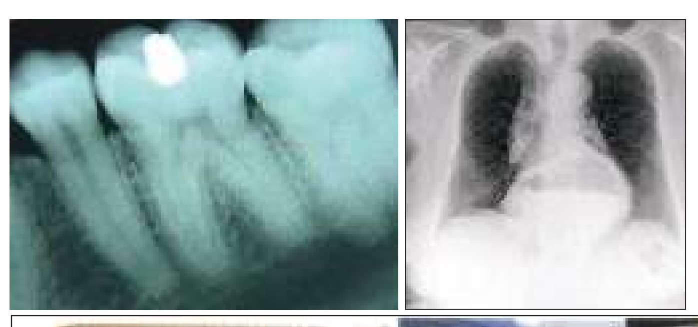
$$\therefore \frac{c}{\lambda_{min}} = \frac{Ve}{h}$$

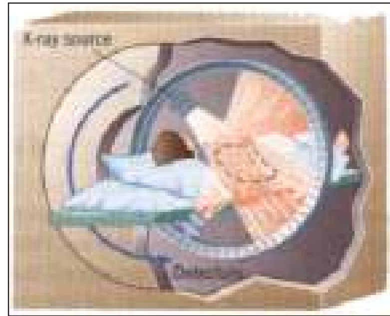
$$\therefore \lambda_{min} = \frac{hc}{Ve}$$

ومن تطبيقات الاشعة السينية انها تستثمر في المجالات الآتية:

1. **المجال الطبي:** فهي تعطي صوراً واضحة للعظام التي تظهر بشكل فاتح والأنسجة تظهر بشكل اغمق عند التصوير الاشعاعي، للكشف عن تسوس الأسنان وكسور العظام وتحديد مواقع الأجسام الصلبة مثل الشظايا أو الرصاص في الجسم، وكذلك الكشف وعلاج بعض الأورام في الجسم، لاحظ الشكل (19). كما تستثمر لتعقيم المعدات الطبية مثل القفازات الجراحية اللدنة أو المطاطية والمحقنات. فهذه المعدات تتلف عند تعرضها للحرارة الشديدة ولذا فلا يمكن تعقيمها بالغليان.









شكل (19) بعض تطبيقات الاشعة السينية (للاطلاع)

2. **المجال الصناعي:** للكشف عن الهنات والشقوق في القوالب المعدنية والأخشاب المستعملة في صناعة الزوارق، كما ساعدت دراسة طيف امتصاص هذه الأشعة في المادة على جعل الأشعة السينية من احدى الطرائق للكشف عن العناصر الداخلة في تركيب المواد المختلفة وتحليلها. وكذلك تستثمر في دراسة خصائص الجوامد والتركيب البلوري.

3. **المجال الأمني:** لمراقبة حقائب المسافرين في المطارات، الشكل (20).

كما تستثمر للتعرف على أساليب الرسامين والتمييز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيفة، وذلك لأن الألوان المستعملة في اللوحات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنية التي تمتص الأشعة السينية، وأما الألوان المستعملة في اللوحات الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الأشعة السينية بنسبة أقل.



شكل (20)

7-8 تأثير كومبتن Compton effect

توصل العالم كومبتن الى انه عند سقوط حزمة من الاشعة السينية (فوتونات) ذات طول موجي معلوم (λ) على هدف من الكرافيت النقي، فإن الاشعة تستطار بزوايا مختلفة، وان الاشعة المستطارة ذات طول موجي (λ') اطول بقليل من الطول الموجي (λ) لحزمة الاشعة الساقطة وان التغيير في الطول الموجي ($\lambda'-\lambda$) يزداد بزيادة زاوية الاستطارة (θ)، مع انبعاث الكترون من الجانب الاخر للهدف لاحظ الشكل (21).

شكل (21) تأثير كومبتن

وقد فسر العالم كومبتن ذلك بأن الفوتون الساقط على هدف من الكرافيت يتصادم مع الكترون حر من الكترونات ذرات مادة الهدف فاقدا مقدار من طاقته، ويكتسب هذا الالكترون بعد التصادم مقداراً من الطاقة بشكل طاقة حركية تمكنه من الافلات من مادة الهدف (أي ان الفوتون يسلك سلوك الجسيمات).

افترض ان التصادم بين الفوتون والالكترون الحر هو من النوع المرن (elastic scattering) اذ يخضع لقانوني حفظ الزخم وحفظ الطاقة.

وطبقا لتأثير كومبتن فإن:

مقدار الزيادة في الطول الموجي لفوتونات الاشعة السينية المستطارة بوساطة الالكترونات الحرة لذرة الهدف مقارنة بالطول الموجي للفوتونات الساقطة يعتمد على زاوية الاستطارة (θ) فقط وفق العلاقة الآتية:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

إذ إن :

λ' : طول موجة الفوتون المستطار.

λ : طول موجة الفوتون الساقط.

h : تمثل ثابت بلانك = $6.63 \times 10^{-34} J.S$

m_e : كتلة الإلكترون = $9.11 \times 10^{-31} kg$

c: سرعة الضوء = $3 \times 10^8 m/s$

θ: زاوية استطارة الفوتون

$h/m_e c$ تمثل طول موجة كومبتن (Compton wave length) والتي تساوي (0.24×10^{-11} m)

ومن الجدير بالذكر ان تأثير كومبتن هو احد الادلة المهمة التي تؤكد السلوك الدقائقي للموجات الكهرومغناطيسية والتي عجزت النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل عن تفسيره.

مثال (1)

مامقدار الزيادة الحاصلة في طول موجة الفوتون المستطار (في تأثيركومبتن) أذا استطار بزاوية 60^o ؟

علما بأن:

ثابت بلانك = $6.63 \times 10^{-34} J.S$

سرعة الضوء = $3 \times 10^8 m/s$

كتلة الالكترون = $9.11 \times 10^{-31} kg$

الحل

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 60^\circ)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \frac{1}{2})$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 1.2 \times 10^{-3} nm$$ مقدار الزيادة الحاصلة في طول موجة الفوتون

مثال (2)

اذا كان فرق الجهد المطبق بين قطبي انبوبة توليد الاشعة السينية $(1.24\times10^4 V)$ لتوليد اقصر طول موجة تسقط على هدف الكرافيت في جهاز (تأثير كومبتن)، وكانت زاوية استطارة الاشعة السينية 90^0 فما طول موجة الاشعة السينية المستطارة؟

الحل

$$hf_{max} = (KE)_{max} = eV$$

$$f_{max} = \frac{eV}{h} = \frac{1.6\times10^{-19}\times(1.24\times10^4)}{6.63\times10^{-34} J.s}$$

$$f_{max} = 2.99\times10^{18} Hz \simeq 3\times10^{18} Hz$$

$$\lambda_{min} = \frac{C}{f_{max}} = \frac{3\times10^8}{3\times10^{18}} = 1\times10^{-10} m$$

$\lambda_{min} = 0.1\times10^{-9} m$ طول موجة الاشعة السينية الساقطة

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e C}(1-\cos\theta)$$

$$\lambda' - 0.1\times10^{-9} m = (0.24\times10^{-11} m)(1-\cos 90^0)$$

$$\lambda' - 0.1\times10^{-9} m = (0.24\times10^{-11} m)(1-0)$$

$$\lambda' = 0.24\times10^{-11} m + 0.1\times10^{-9} m$$

$$\lambda' = 0.0024\times10^{-9} m + 0.1\times10^{-9} m$$

$$= 0.1024\times10^{-9} m$$

$\lambda' = 0.1024 nm$ طول موجة الاشعة السينية المستطارة

8-8 الليزر والميزر Laser and Maser

دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصر أساسي في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة وفي صناعة الإلكترونيات وقياس المسافات بدقة – خاصة أبعاد الأجسام الفضائية– وفي الاتصالات. أو في آلات طبيب الأسنان أو في معدات قطع ولحام المعادن وغيرها من المجالات. كل تلك الأجهزة تستعمل الليزر، ولكن ما الليزر؟ وما الذي يميزه عن المصادر الضوئية الاخرى ؟

جاءت تسمية كلمة ليزر LASER من الأحرف الأولى لفكرة عمل الليزر والمتمثلة في العبارة الآتية:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تضخيم الضوء بوساطة الانبعاث المحفز للإشعاع.

وضع العالم البرت اينشتاين في 1917 الأساس النظري لعملية الانبعاث المحفز stimulated emission وصُمّم أول جهاز ليزر في عام 1960 من قبل العالم ميمان T.H. Maiman باستعمال بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby laser.

أما تسمية الميزر فجاءت من الحروف الاولى لفكرة عمل الميزر والمتمثلة في العبارة:

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تضخيم الموجات الدقيقة بوساطة الانبعاث المحفز للإشعاع.

هل تعلم

تمكن العالم تاونس من تصميم اول جهاز يقوم بتضخيم الموجات الدقيقة باستعمال تقنية الانبعاث المحفز وهو ميزر الامونيا عام 1954.

9-8 خصائص اشعة الليزر Properties of Laser

يمتاز شعاع الليزر بالميزات الاساسية الآتية :

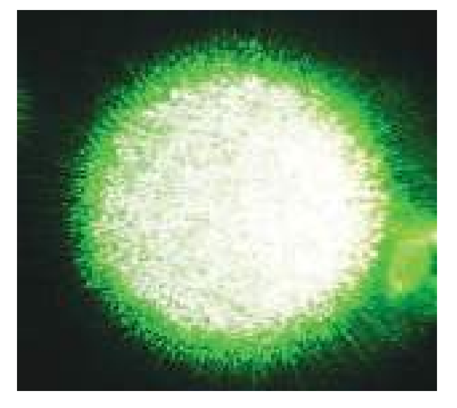
1- أحادي الطول الموجي (احادي اللون) monochromatic أي أن له طولاً موجياً واحداً. فشعاع الليزر يتميز بالنقاء الطيفي بدرجة تفوق اي مصدر اخر فأشعة الضوء المنبعثة من المصادر الضوئية العادية تحوي مدى واسعاً من الاطوال الموجية لاحظ الشكل (22).

شكل (22)

2- التشاكه coherency: موجات حزمة اشعة الليزر تكون كلها في الطور نفسه والاتجاه والطاقة، وبهذا ممكن ان تتداخل موجتان فيما بينها تداخلا بناءً. لاحظ الشكل (23).

شكل (23)

ويمكن ملاحظة ذلك عند النظر الى موقع سقوط أشعة الليزر على حاجز إذ تظهر بشكل نقاط صغيرة مرقطة (Speckle) لاحظ الشكل (24).



شكل (24) يمثل تداخل اشعة الليزر

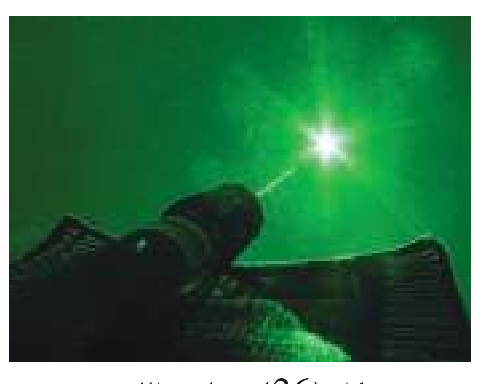
3- الاتجاهية Directionality: تبقى موجات حزمة الليزر متوازية مع بعضها لمسافات بعيدة بانفراجية قليلة وهذا يعني ان حزمة الليزر تحتفظ بشدتها نسبياً في حين تنتشر موجات الضوء الاعتيادي بشكل عشوائي بالاتجاهات كافة، لاحظ الشكل (25)، فإذا أرسلت حزمة من اشعة الليزر الى القمر، على بعد 384000 km عن سطح الأرض تقريباً، وكانت بالشدة الضوئية الكافية، فإنها تفرش على سطح القمر بقعة مضاءة لا يزيد قطرها على 1km، في حين أنه إذا أرسل الضوء الاعتيادي ووصل، فرضاً، إلى سطح القمر، فإن قطر البقعة المضاءة يصل إلى 4376 km تقريباً.





شكل (25)

4- السطوع Brightness: ان طاقة موجات اشعة الليزر تتركز في مساحة صغيرة وذلك لقلة انفراجيتها مما يجعل شعاع الليزر ذا شدة سطوع عالية جداً، لاحظ الشكل (26) لذا يمكن ان يكون شعاع الليزر أسطع من اشعة الشمس بمليون مرة. فعلى سبيل المثال ان شدة الاشعة المنبعثة من مصباح التنكستن الاعتيادي ذو القدرة 100watt تبلغ حوالي $2000 watt/cm^2$ في حين تصل شدة اشعة الليزر بالقدرة نفسها حوالي $2x10^9 watt/cm^2$ اي أعلى بمقدار مليون مرة من شدة الاشعة الصادرة عن مصباح التنكستن الاعتيادي .



شكل (26) سطوع الليزر

10-8 آلية عمل الليزر Mechanism of laser action

قد يتبادر الى ذهننا الأسئلة الآتية:

ما شروط توليد الليزر ؟

ما نوع الانتقالات التي تحصل بين مستوى الطاقة المتهيج والمستوى الارضي ؟

وما الانتقالات التي تعمل على توليد الليزر وتحت اية ظروف ؟

هل ان هذه الانتقالات ضرورية جدا لانبعاث شعاع الليزر ؟

للاجابة على هذه التساؤلات لاحظ الشكل (27 a ، b ، c)

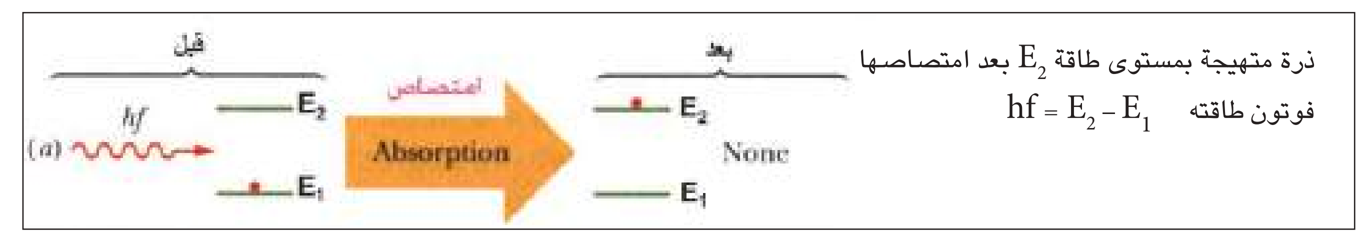
نفترض نظاماً ذرياً ذا مستويين للطاقة يوضح ثلاثة انواع من الانتقالات الالكترونية وهي:

1- الامتصاص المحتث Induced Absorption

هو انتقال الذرة من مستوى طاقة واطيء (E_1) الى مستوى طاقة متهيج (E_2) وذلك بامتصاص فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين لاحظ الشكل (27-a)

اي أن :

$$E_2 - E_1 = hf$$



شكل (27-a) الامتصاص المحتث

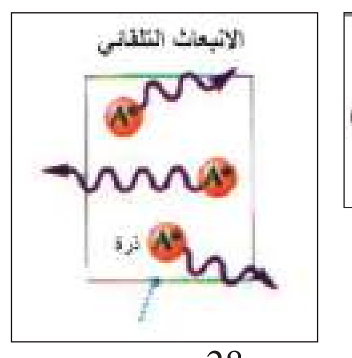
2- الانبعاث التلقائي Spontaneous Emission:

عندما تصير الذرة في مستوى الطاقة الاعلى (مستوى التهيج) تميل دائما الى حالة الاستقرار فتعود تلقائياً بعد مدة زمنية قصيرة (العمر الزمني لمستوى التهيج) الى المستوى الارضي وهذا يصاحبه انبعاث فوتون، طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين ($E_2 - E_1 = hf$) ويسمى هذا الانتقال بالانبعاث التلقائي spontaneous Emission لاحظ الشكل (27-b).

وتكون الفوتونات المنبعثة تلقائياً مختلفة من حيث الطور والاتجاه والطاقة لاحظ الشكل (28).



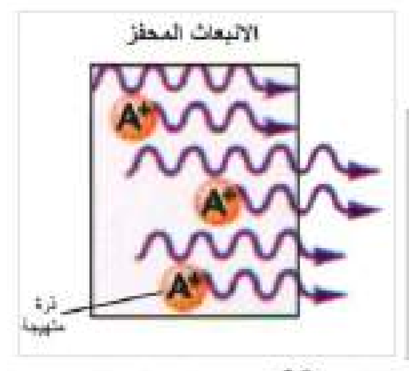
شكل (27-b) الانبعاث التلقائي



شكل (28) فوتونات منبعثة تلقائياً مختلفة من حيث الطور والاتجاه

3- الانبعاث المحفز Stimulated Emission:

عندما يؤثر فوتون في ذرة متهيجة وهي في مستوى الطاقة E_2 طاقته مساوية تماماً الى فرق الطاقة بين المستوى E_2 والمستوى الطاقة الاوطأ E_1 فإنه يحفز الالكترون غير المستقر على النزول الى المستوى E_1 وانبعاث فوتون مماثل للفوتون المحفز بالطاقة والتردد والطور والاتجاه اي الحصول على فوتونين متشاكهين لاحظ الشكلين (27-c)، (29).

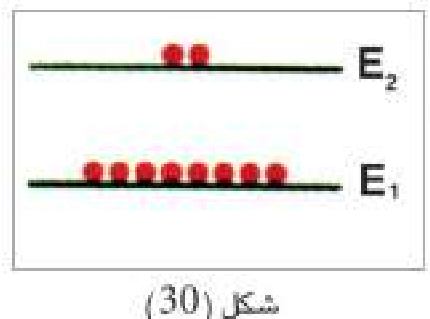


شكل (29) نحصل على فوتونين متشاكهين في الانبعاث المحفز



شكل (c-27) الانبعاث المحفز

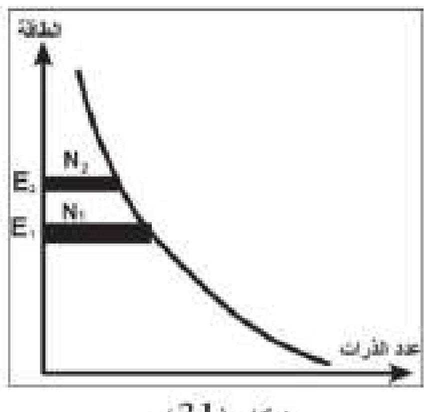
11-8 توزيع بولتزمان والتوزيع المعكوس
Boltzmann distribution and Population Invertion



شكل (30)

لو كان لدينا نظام يتكون من (جزيئات ، ذرات او ايونات) في حال اتزان حراري تكون معظم الذرات في المستويات الواطئة للطاقة ونسبة قليلة من الذرات تكون متهيجة في المستويات العليا للطاقة لاحظ الشكل (30).

أي إن التوزيع (الاستيطان) (Population) أو عدد الذرات أو الجزيئات في المستوى الارضي (N_1) يكون اكثر من عدد الذرات أو الجزيئات في المستوى الاعلى للطاقة (N_2) لاحظ الشكل (31)..



شكل (31)

أي إن: $N_1 > N_2$

وقد تمكن العالم بولتزمان من ايجاد علاقة رياضية توضح توزيع الذرات او الجزيئات في مستويات الطاقة واقترنت هذه المعادلة باسمه وسميت بقانون بولتزمان وفق العلاقة الآتية:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right]$$

إذ إن:

k = ثابت بولتزمان

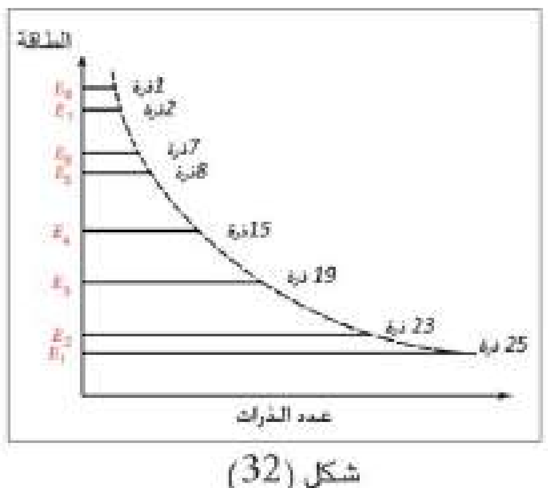
T = درجة الحرارة بالكلفن

N_2 = عدد الذرات في المستوى الاعلى للطاقة

N_1 = عدد الذرات في المستوى الارضي للطاقة

E_2 = مستوى عالي الطاقة

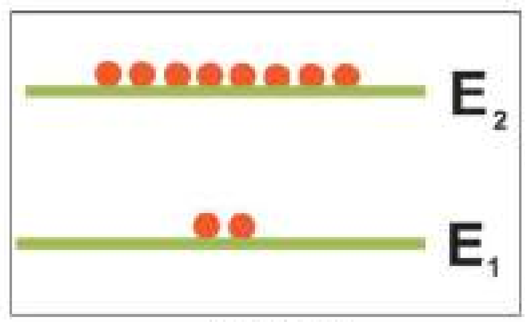
E_1 = اوطأ مستوى للطاقة



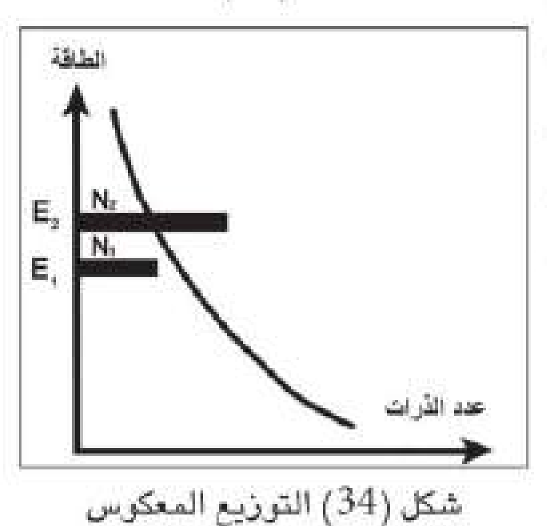
شكل (32)

فعلى سبيل المثال لو كان لدينا منظومة ذرية تتكون من 100 ذرة لعنصر فيمكن توضيح التوزيع الطبيعي للذرات بحسب توزيع بولتزمان لهذه المنظومة الذرية كما موضح بالشكل (32)، والذي

يبين ان اوطأ المستويات E_1 يحتوي على اكبر عدد من الذرات (25 ذرة) في حين تضم اعلى المستويات E_8 اقل عدد من الذرات (1 ذرة).



شكل (33)



شكل (34) التوزيع المعكوس

التوزيع المعكوس Population Inversion:

اذا كان النظام الذري غير متزن حرارياً فإن عدد الذرات في المستويات العليا للطاقة اكثر مما عليه في المستويات الواطئة للطاقة، وهذا يخالف توزيع بولتزمان لاحظ الشكل (33)، اي ان توزيع الذرات في هذه الحال يكون بشكل معكوس لذا تسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس Population Inversion لاحظ الشكل (34)، والتي تزيد من احتمالية الانبعاث المحفز وهذه العملية هي اساس توليد الليزر وتحصل عندما يكون هناك شدة ضخ كافية ويتحقق ذلك بوجود مستوى طاقة ذي عمر زمني اطول نسبياً ويسمى هذا المستوى بالمستوى شبه المستقر (Metastable state).

مثال (3)

إذا كان فرق الطاقة بين المستويين يساوي $(k\,T)$ عند درجة حرارة الغرفة احسب عدد الذرات N_2 بدلالة N_1 ؟

الحل

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right]$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp -\left[\frac{kT}{kT}\right]$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp(-1)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-1} \Rightarrow N_2 = 0.37\,N_1$$

أي إنه في الحالة الاعتيادية يكون عدد الذرات N_1 في المستوى E_1 أكثر من عدد الذرات N_2 في المستوى E_2 $(N_1 > N_2)$.

مثال (4)

وضح رياضياً انه لا يتحقق التوزيع المعكوس عندما تكون الطاقة الحرارية (kT) مساوية لطاقة الفوتون الساقط.

الحل

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right] \quad \cdots\cdots 1$$

$$E_2 - E_1 = hf \quad \cdots\cdots 2$$

$$kT = hf \quad \cdots\cdots 3$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp - \left[\frac{hf}{hf}\right]$$

$$= \exp(-1)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = 0.37 \Rightarrow N_2 = 0.37 N_1$$

$$\therefore N_2 < N_1$$

وبهذا لا يتحقق التوزيع المعكوس.

تذكر

1- لغرض توليد الليزر يجب ان يكون عدد الذرات في مستويات التهيج اكبر مما عليه في مستويات الطاقة الواطئة وتسمى هذه العملية بالتوزيع المعكوس.

2- لايمكن الحصول على الانبعاث المحفز من غير حصول الانبعاث التلقائي اولاً.

3- ان الفوتونات التي نحصل عليها من الانبعاث التلقائية والتي تسير بموازاة المحور البصري ضمن الوسط الفعال هي التي تحفز الذرات المتهيجة وتحثها على الانبعاث المحفز(توليد الليزر).

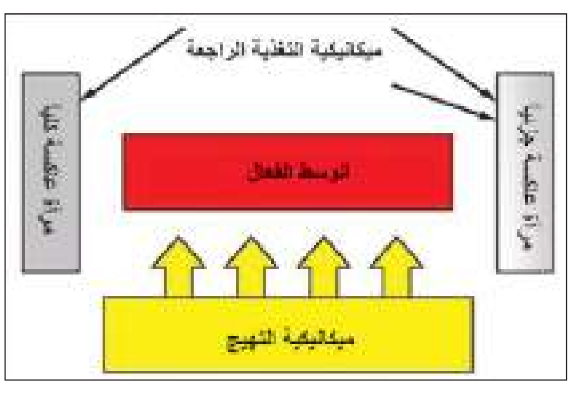
12-8 مكونات جهاز الليزر Constituonts of laser

المخطط الذي يمثله الشكل (35) يوضح اهم المكونات الرئيسة التي يشترط وجودها في اجهزة الليزر وهي:

1- الوسط الفعال.

2- المرنان.

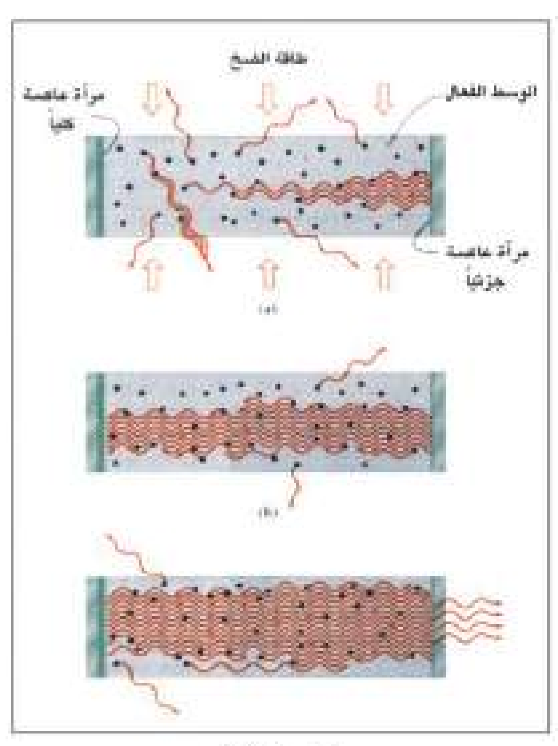
3- تقنية الضخ.



شكل (35) مخطط لمكونات جهاز الليزر

1- الوسط الفعال Active Medium: هو ذرات او جزيئات او ايونات المادة بحالتها الغازية او السائلة او الصلبة والتي يمكن ان يحصل فيها التوزيع المعكوس عندما يجهز الوسط الفعال بالشدة الكافية لتهيجه.

2- المرنان:



شكل (36)

تجويف ذو تصميم مناسب يتكون من مرآتين بوضع الوسط الفعال بينهما وتصمم المرآتان بحيث تكونان متقابلتين احداهما عاكسة كليا للضوء تقريبا والثانية عاكسة جزئيا، (تعتمد قيمة انعكاسيتها على الطول الموجي لضوء الليزر المتولد)، لذا فان الشعاع الساقط على احدهما ينعكس موازياً للمحور الاساس للمرآتين ثم يسقط على المرآة الاخرى وينعكس عنها وهكذا تتعاقب انعكاسات الاشعة داخل المرنان، وفي كل انعكاس تحصل عملية الانبعاث المحفز وبذلك يزداد عدد الفوتونات المتولدة بالانبعاث المحفز بعدد هائل فيحصل التضخيم. وتسمح المرآة ذات الانعكاس الجزئي بنفوذية معينة من الضوء الساقط عليها خارج المرنان اما بقية الضوء فتعكسه مرة اخرى داخل المرنان لادامة عملية التضخيم.لاحظ الشكل (36).

3- تقنية الضخ pumping:


شكل (37)

وهي التقنية التي يمكن بوساطتها تجهيز الطاقة لذرات الوسط الفعال لنقلها من مستوى الاستقرار الى مستوى التهيج. ممكن بوساطتها الحصول على الطاقة الضاخة لاثارة الذرات المستقرة في الوسط لكي يتحقق حالة التوزيع المعكوس المناسب الذي يضمن توليد الليزر.

هناك ثلاثة انواع من تقنية الضخ:

a- تقنية الضخ الضوئي optical pumping: يستعمل الضخ الضوئي للحصول على ليزرات تعمل ضمن المنطقة المرئية أو تحت الحمراء القريبة من الطيف المرئي، كليزر الياقوت وليزر النيدميوم، إذ تستعمل مصابيح وميضية او مستمرة الاضاءة قوة اضائتها عالية لاثارة الوسط الفعال، تصنع جدران المصابيح الومضية من مادة الكوارتز وتملأ بغازات مختلفة تبعا لنوع الوسط الفعال وتكون بأشكال مختلفة حلزونية او مستقيمة، لاحظ الشكل (37).

كما توجد تقنية اخرى للضخ الضوئي تستعمل فيها شعاع ليزر معين ليقوم هذا الشعاع بأثارة الوسط الفعال لتحقيق التوزيع المعكوس والحصول على ليزر ذي طول موجي يختلف عن الطول الموجي لشعاع الليزر الضاخ.

b – تقنية الضخ الكهربائي Electrical Pumping: تستعمل هذه التقنية عن طريق التفريغ الكهربائي للغاز الموضوع داخل انبوبة التفريغ الكهربائي اذ يطبق بين قطبيها فرق جهد عال حيث تصطدم الالكترونات المعجلة مع ذرات او جزيئات الغاز فتسبب تهيجها وانتقالها الى مستويات طاقة اعلى. تستعمل هذه الطريقة غالبا في الليزرات الغازية، كما يمكن استعمال تقنية الضخ الكهربائي في انتاج ليزر شبه الموصل.

c– تقنية الضخ الكيميائي Chemical Pumping: في هذه التقنية يكون التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال اساس توفير الطاقة اللازمة لتوليد الليزر اذ لا تحتاج الى وجود مصدر خارجي للقدرة.

13-8 منظومات مستويات الليزر laser levels systems

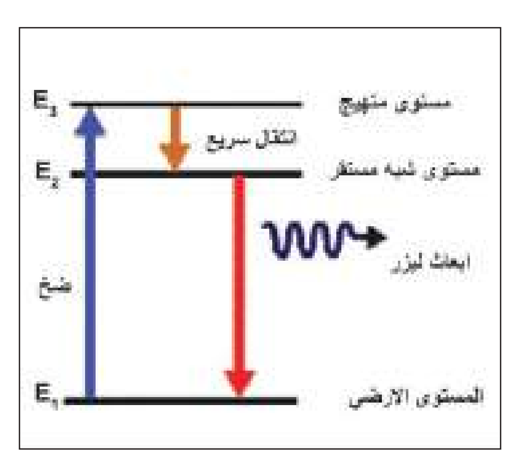
يمكن تصنيف منظومات الليزر تبعاً لمستويات الطاقة التي تشترك لاتمام عملية التوزيع المعكوس للوسط الفعال الى منظومتين:

1 – المنظومة ثلاثية المستوى. Three-Level system

2 – المنظومة رباعية المستوى Four-Level system

1– المنظومة ثلاثية المستوى:

تشترك في هذه المنظومة ثلاثة مستويات للطاقة، وهي المستوى الارضي للطاقة E_1، ومستوى الطاقة الوسطي E_2 (وهوالمستوى شبه مستقر)ومستوى طاقة التهيج E_3 لاحظ الشكل (38).

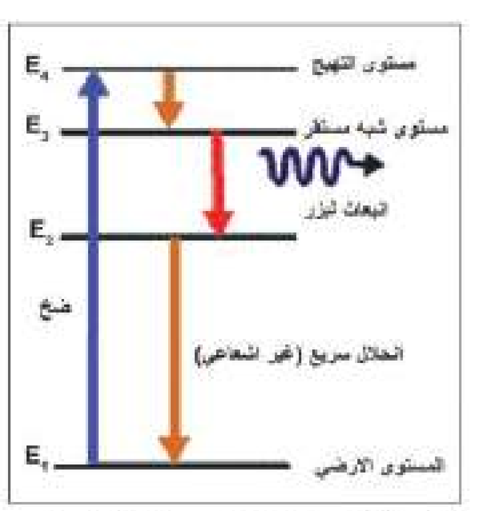


شكل (38) منظومة ثلاثية المستوى

عندما تكون معظم الذرات او الجزيئات موجودة في المستوى الارضي للطاقة E_1، يعني ذلك ان الوسط الفعال في حالة استقرار، اما عند تهيج الوسط الفعال بوساطة احدى طرائق الضخ المناسبة، فان هذه الذرات اوالجزيئات سوف تنتقل الى مستوى التهيج E_3، والذي يكون زمن العمره قصيربحدود (10^{-8} s) ولضمان توليد الليزر ينبغي ان تكون طاقة الضخ كافية لتحقيق التوزيع المعكوس. وسرعان ما تهبط هذه الذرات تلقائيا وبشكل سريع من المستوى (E_3) الى المستوى شبه المستقر(E_2) بانبعاث حراري، والذي زمن العمر له اطول وبحدود (10^{-6}s) مما يؤدي الى تجمع عدد من الذرات في المستوى (E_2) اكبر مماهو عليه في المستوى الارضي (E_1) فيتحقق عندئذ التوزيع المعكوس

بين هذين المستويين فيحدث الانبعاث المحفز لاشعة الليزر. ان هذه الانظمة تتطلب طاقة ضخ عالية ليصبح عدد الذرات في مستوى التهيج اكبر من عدد الذرات في المستوى الارضي للحصول على التوزيع المعكوس.

2- المنظومة رباعية المستوى:



شكل (39) منظومة ليزر رباعية المستوى

تشترك في هذه المنظومة أربعة مستويات للطاقة (E_4, E_3, E_2, E_1)

وفي هذه العملية يقوم ضخ ذرات المنظومة من المستوى الارضي للطاقة (E_1) الى مستوى التهيج للطاقة (E_4) لاحظ الشكل (39)، عندها تهبط الذرات سريعاً الى مستوى الطاقة (E_3) وبذلك تتجمع الذرات في المستوى (E_3)(وهو مستوى الطاقة شبه المستقرفي هذه المنظومة). عندها يتحقق التوزيع المعكوس بين المستويين (E_3) و (E_2) باقل عدد من الذرات في المستوى (E_3) اذ يكون المستوى (E_2) شبه فارغ من الذرات بسبب الهبوط السريع للذرات ومن هذا يتبين ان هذه المنظومة تتطلب طاقة ضخ اقل لتحقيق عملية التوزيع المعكوس مقارنه مع منظومة ثلاثية المستويات.

سؤال:

ايهما افضل لتولد الليزر منظومة المستويات الثلاثة ام منظومة المستويات الاربعة؟ ولماذا ؟

14-8 أنواع الليزر Types of Laser

يأتي الليزر بأنواع مختلفة تبعاً لنوع مادة الوسط الفعال المستعمل فيها فمثلاً ليزر الهيليوم نيون He-Ne يعني ان الوسط الفعال هو خليط من الهيليوم والنيون وليزر الياقوت يعني ان المادة المنتجة لليزر هي الياقوت وهكذا لباقي الأنواع الأخرى. ولنأخذ بعض الأمثلة لأنواع مختلفة لليزر:



شكل (40) ليزر غازي

1- ليزر الحالة الصلبة solid-state laser مثل ليزر الياقوت ruby وليزر النيدميوم.



2- ليزر الحالة الغازية Gas laser مثل ليزر الهيليوم -نيون وليزر غاز ثنائي اوكسيد الكربون، شكل (40).



3- ليزر الاكسايمر Excimer laser. (تعد ليزرات الاكسايمر صنفا مفيدا ومهما من الليزرات الجزيئية التي تستثمر الانتقالات الحاصلة بين حالتين الكترونيتين مختلفتين، وتطلق على أنواع الليزرات التي تستعمل الغازات النبيلة مثل غاز الزينون والكريبتون

أو الأركون مع ذرة هالوجين لتكوين هاليد الغاز مثل ArF،KrF،XeCl تنتج هذه الغازات اشعة ليزر ذات أطوال موجية في مدى الأشعة فوق البنفسجية.

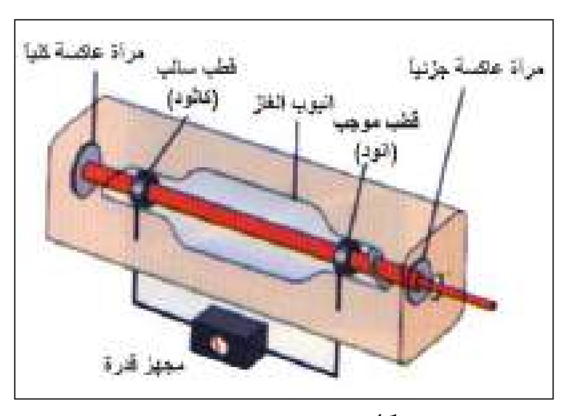
4- ليزر الصبغة Dye laser وهي الليزرات التي تكون فيها المادة الفعالة بحالة سائلة من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مثل الرودامين rhodamine 6G مذابة في سوائل مثل كحول مثيلي او كحول اثيلي، تنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه.

5- ليزر أشباه الموصلات Semiconductor laser. مثل ليزر زرنيخيد الكاليوم.

6- الليزر الكيميائي Chemical Laser: هو الليزر الذي يحدث فيه التوزيع المعكوس بالتفاعل الكيميائي مباشرة مثل ليزر فلوريد الديتيريوم.

الليزرات الغازية Gas Lasers:

تعد الليزرات الغازية من اشهر الليزرات المستعملة في مجال الصناعة، إذ تكون بعض هذه الليزرات ذات قدرة واطئة mW (0.5-50) مثل ليزرالهيليوم-نيون (He-Ne Laser) وبعضها الاخر ذا قدرة عالية جدا (1mW-60kW)، مثل ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون ويتراوح مدى الاطوال الموجية لهذه الليزرات بين الاشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والاشعة تحت الحمراء، طريقة ضخ الطاقة الخارجية الى الوسط الفعال في هذا الليزر هي الضخ الكهربائي حيث يتم تعجيل الالكترونات الحرة بين قطبين كهربائيين في واثناء حركتها السريعة جدا تصطدم الالكترونات بالغازات الموجودة في المكان نفسه فيتم اثارتها الى المستوى الاعلى للطاقة وبصورة عامة، تتضمن منظومات الليزرات الغازية ثلاثة مكونات رئيسة، لاحظ الشكل (41) وهي:



شكل (41) مكونات الليزر الغازي

1- انبوبة التفريغ: تحتوي على الوسط الغازي الفعال.

2- مجهز القدرة: يساعد على تهييج الوسط الفعال عبر قطبين كهربائيين.

3- المرنان: يساعد على زيادة التوزيع العكسي في الوسط الفعال بواسطة التغذية الراجعة.

يمكن تصنيف الليزرات الغازية الى ثلاثة اصناف حسب حالة الوسط الفعال وكما يلي:

1- الليزرات الذرية مثل ليزر He - Ne وليزر He - Cd

2- الليزرات الايونية مثل ليزر ايونات الاركون Ar^+ وليزر ايونات الكريبتون Kr^+.

3- الليزرات الجزيئية كليزر ثنائي اوكسيد الكاربون.

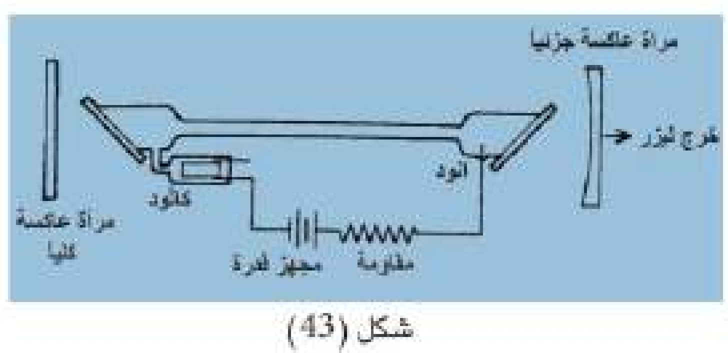
ليزر الهليوم- نيون He-Ne Laser:


شكل (42)

اكتشف ليزر الهليوم – نيون نهاية عام (1960) من قبل العالم جافان، ويعد من الليزرات الذرية لاحظ الشكل (42). يتكون الوسط الفعال لهذا الليزر من خليط غازي من غازي النيون والهيليوم موضوعين في انبوبة زجاجية بنسب معينة وتحت ضغط Torr(8–12)، إذ تعد ذرات النيون مسؤولة مباشرة عن توليد الليزر، في حين ان ذرات الهليوم لها دور مساعد ومهم في ميكانيكية تهيج ذرات النيون. يتم عادة ضخ الوسط الفعال الغازي بواسطة التفريغ الكهربائي، بتسليط فولطية عالية تتراوح من kv (2-4) على طرفي الانبوبة الزجاجية لاحظ الشكل (43).

عند حدوث التفريغ الكهربائي داخل الانبوبة، تقوم ذرات الهليوم بامتصاص الطاقة الناتجة من تصادمها مع الالكترونات المتسارعة وتنتقل ذرات الهليوم من مستوى الاستقرار الى مستويات متهيجة شبه مستقرة ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة:

$$e_1 + He \rightarrow He^* + e_2$$



شكل (43)

إذ إن:

e_1 الالكترون المتسارع قبل التصادم

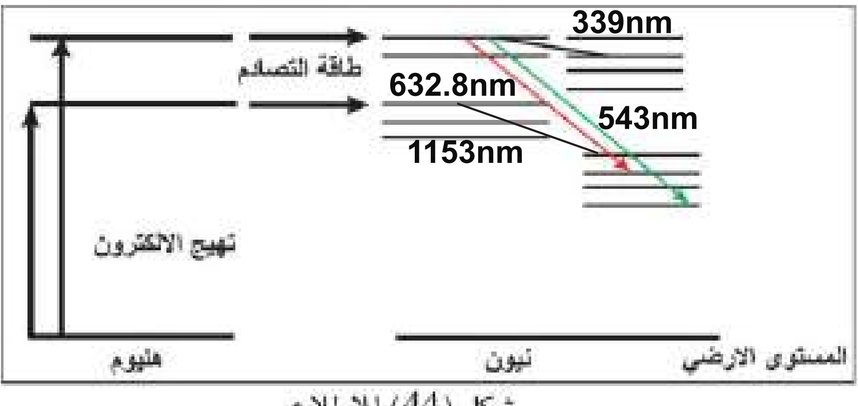
e_2 الالكترون بعد التصادم

He^* ذرة الهليوم المتهيجة

ان المستويات المتهيجة شبه المستقرة لذرات الهليوم تقارب من مستويات التهيج لذرات النيون، والذي يؤدي الى حدوث التصادم بينهما مما يؤدي الى تهيج ذرات النيون وانتقالها الى مستويات متهيجة ويمكن تمثيل هذه العملية بالمعادلة الآتية:

$$He^* + Ne \rightarrow Ne^* + He$$

وبذلك يحدث التوزيع العكسي لذرات النيون عندئذ يحصل الانبعاث المحفز لتنتقل الذرة الى مستوى شبه مستقر وبذلك يتم الحصول على اربع خطوط ليزرية nm (632.8) ، nm (1153 ، 543 ، 339)، لاحظ الشكل (44).



شكل (44) للاطلاع

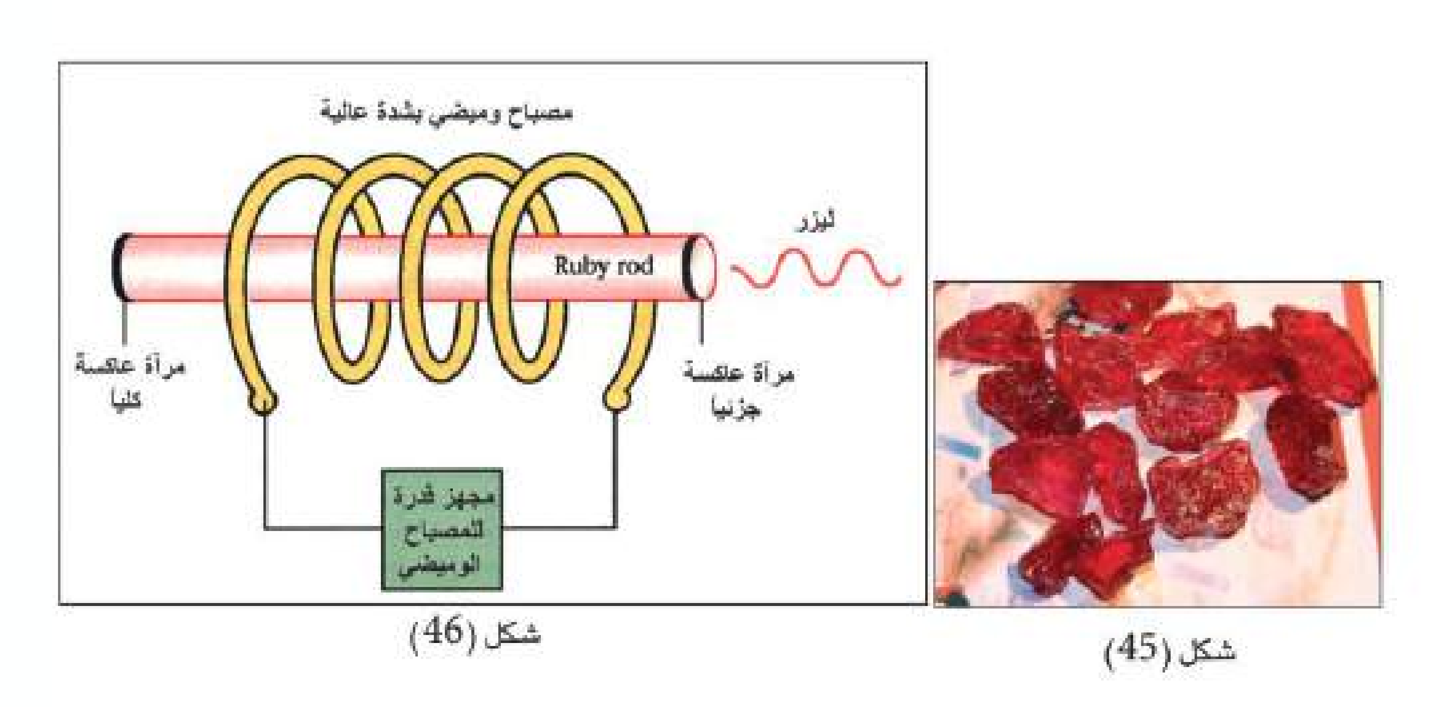
ليزر ثنائي اوكسيد الكربون:

اكتشف ليزر ثنائي اوكسيد الكربون عام 1964 ويعد من أكفأ الليزرات الغازية اذ تصل كفاءته الى حدود 30% ويتميز بكبر القدرة الخارجة وهو من الليزرات الجزيئية. يتكون الوسط الفعال لهذا الليزر من خليط من غاز ثنائي اوكسيد الكربون وغاز النتروجين وغاز الهليوم بنسب معينة، يضخ هذا الليزر بوساطة تقنية التفريغ الكهربائي، يبعث خطين ليزريين بطول موجي 9.6 µm و 10.6 µm .

الليزرات الصلبة:

ليزر الياقوت:

يعد ليزر الياقوت الاحمر اول ليزر في العالم صنع عام 1960 اذ يتكون من بلورة اسطوانية صلدة من الياقوت لاحظ الشكل (45)، والتي تتكون من اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 المطعم بأيونات الكروم ثلاثية التكافؤ Cr^3 بنسبة 5% من الوزن الكلي بتركيز ايونات فعالة حوالي ($10^{22}/m^3$). تعمل بنظام المستويات الثلاثية ويتم الضخ فيها بوساطة المصباح الوميضي. لاحظ الشكل (46).



شكل (46)

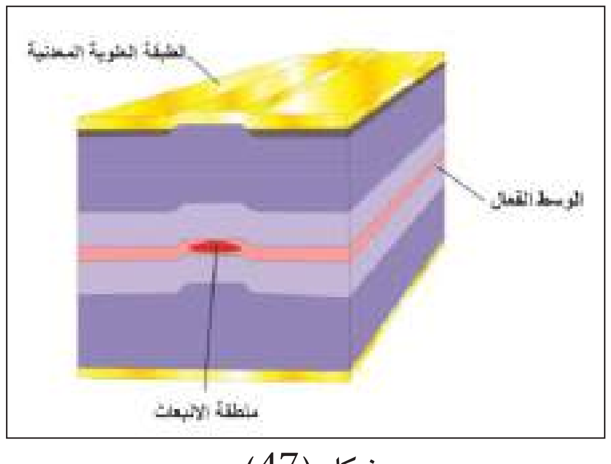
شكل (45)

ليزر النيديميوم ياك:

يتكون الوسط الفعال لهذا الليزر من مادة اوكسيد اليتريوم المنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) المطعمة بايونات النيديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم لا تتجاوز % 1.5 يعمل بنظام المستويات الرباعية داخل البلورة ويمكن الحصول على ثلاثة خطوط ليزرية مختلفة (1359nm ،1060 nm ، 914.2nm).

ليزرات اشباه الموصلات:

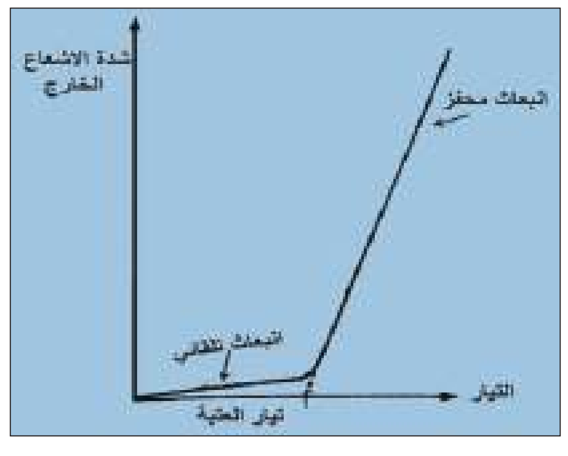
يتكون الوسط الفعال لهذه الليزرات من مواد شبه موصلة مانحة (Donor) وقابلة (Acceptor) وتمثل حزمة التوصيل مستوى الليزر العلوي وحزمة التكافؤ مستوى الليزر السفلي ويتم الضخ من خلال التيار الكهربائي اذ يحرك الالكترونات والفجوات ما بين هاتين الحزمتين لاحظ الشكل (47).



شكل (47)

فعند تسليط فولطية مناسبة بانحياز امامي على المادة الفعالة لشبه الموصل (P-n) المستعملة لانتاج الليزر، يزداد مقدار التيار المناسب فيه ابتداءاً من الصفر بصورة تدريجية فيحصل انبعاث تلقائي في البداية فيكون الاشعاع المنبعث في البداية ذا طيف عريض ويتناقص عرض الطيف الليزري بشكل ملحوظ مع زيادة التيار المنساب خلاله نتيجة لحصول الفعل الليزري (عندما يجتاز حد تيار العتبة). بحيث يصبح الخط الطيفي رفيعاً عند قيمة معينة للتيار ويعرف بتيار العتبة إذ تبدأ اشعة الليزر بالانبعاث عند قيمة اكبر بقليل من تيار العتبة. لاحظ الشكل (48) ومن الجدير بالذكر في حالة تطعيم خاصة في هذا النوع من الليزرات تتحقق عملية التوزيع المعكوس عندما تزداد الفجوات في حزمة التكافؤ وتزداد الالكترونات في حزمة التوصيل.

تعد مادة كاليوم أرسنايد (زرنيخيد الكاليوم)(GaAs) من المواد شبه الموصلة التي تستعمل كقاعدة لتصنيع ليزرات اشباه الموصلات وهذا النوع من الليزرات يبعث في المنطقة تحت الحمراء القريبة حول الطول الموجي 850 μm.



شكل (48)

15-8 بعض تطبيقات الليزر Application of Laser



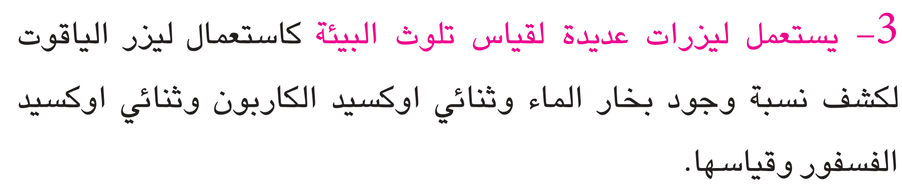
شكل (49)

1- التطبيقات الصناعية: يعد الليزر اداة فعالة لصناعة وتهذيب الكثير من المكونات الالكترونية كالمقاومات والمتسعات والترانزستورات ولعمل اقنعة الدوائر المتكاملة وفي تثقيب المعادن وقطعها ولحامها وتعود اهمية استعمال الليزر في الالكترونيات الدقيقة الى امكانية حصر الحرارة في بقع صغيرة للغاية وتتم هذه المعالجات بدون لمس المكونات وبدون التأثير في الاجزاء المجاورة لها ومن استعمالات الليزر لحام المواد الصلبة والنشطة والمواد التي تتمتع بدرجة انصهار عالية مع امتيازها بدقة التصنيع بسبب إطلاقها لحزمة كثيفة ضيقة مركزة، كما تستطيع أشعة الليزر فتح ثقب قطره 5µm خلال 200µs في أشد المواد صلابة (الماس والياقوت الأحمر التيتانيوم) وبفضل قصر مدة التأثيرلا يحدث أي تغير في طبيعة المادة، لاحظ الشكل (49).

2- يمكن استثمار اتجاهية شعاع الليزر وانتقاله بخطوط مستقيمة الى مسافات بعيدة في تطبيقات عديدة إذ لعب دورا مهما في عمليات المسح والترصيف للاعمال الهندسة كتشييد العمارات والمباني والانشاءات الميكانيكية والصناعات الضخمة وكذلك استعماله لايجاد الانحرافات التي تحل في سطوح السدود والجسور. كما يستعمل الليزر بنجاح كبير في عمليات رصف الانابيب وشق القنوات والانفاق والطرق ومسح الاراضي وتسويتها، لاحظ الشكل (50).



شكل (50)



3- يستعمل ليزرات عديدة لقياس تلوث البيئة كاستعمال ليزر الياقوت لكشف نسبة وجود بخار الماء وثنائي اوكسيد الكاربون وثنائي اوكسيد الفسفور وقياسها.

4- يستعمل الليزر للتصوير المجسم (Holography) إذ يعد التصوير المجسم من افضل تقنيات فن التصوير الذي بواسطته يمكن الحصول على صور مجسمة واقرب ما تكون الى الحقيقة وذات ثلاثة أبعاد طول وعرض وارتفاع إذ تسجل سعة الموجات الضوئية المنعكسة من الجسم وطورها ليظهر بثلاثة ابعاد على شبكية العين بينما في التصوير الاعتيادي تسجل شدة الاشعة فقط، لاحظ الشكل (51).



شكل (51)

5- الليزر بقدرته الهائلة والسيطرة على اختيار تردده أو طوله الموجي يعطي فتحاً جديداً في مجال العلوم النووية لفصل النظائر المشعة، وكذلك في مجال التفاعلات الاندماجية النووية.



شكل (52)

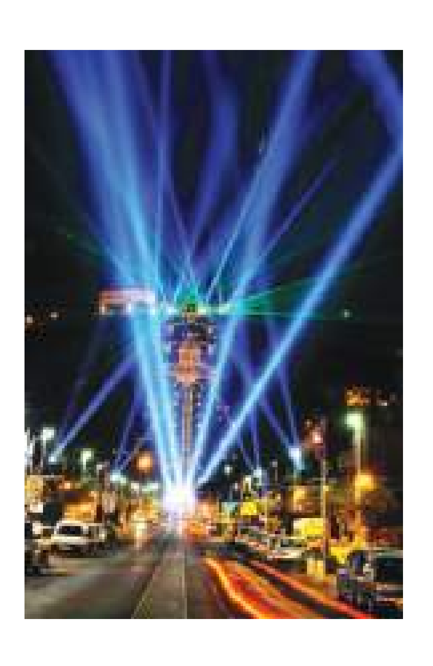
6- يستطيع الليزر التعرف على الرموز المختلفة سواء كانت كتابات معينة أو رموزاً تجارية أو مصطلحات مخفية، إذ إن شعاعه الدقيق يمكن أن يتحرك حول الرموز، ويمكن كشف الحزم المنعكسة منها أو النافذة بأجهزة خاصة تعطي صورة دقيقة عن ماهية هذه المعلومات، وإذا ربطت هذه الأجهزة بالكمبيوتر استطاع آلياً برمجة عمله لاعطاء الكشف الواضح أو نسخ ونقل المعلومات لاحظ الشكل (52).

7- تستعمل آلة النقش بالليزر الثلاثية الأبعاد في النقش والنحت وصناعة الهدايا التذكارية كالنحت على الزجاج و الكريستال ، الجوائز ، الميداليات هدايا تذكارية (هدايا عيد الميلاد ، هدايا التخرج ، و صور الرحلات)، معلقات الكريستال ، القلادات ، صور الأعراس ، آثار الأقدام و اليدين للمواليد الجدد ...إلخ

8- التطبيقات التجارية: يستعمل الليزر في الاعلانات الضوئية ، الطابعات الليزرية ، وقارئات الاقراص الليزرية شكل (53).







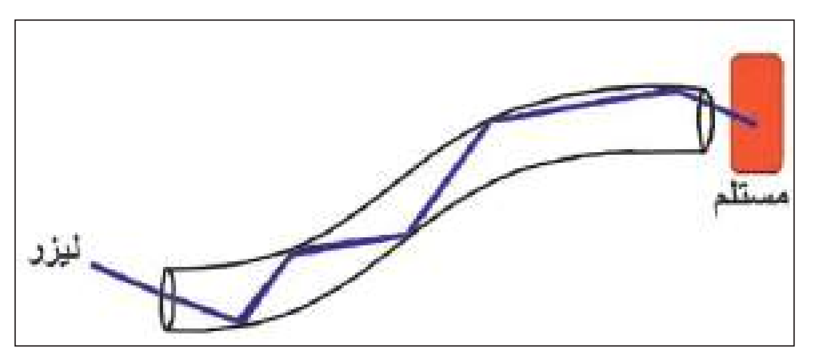


شكل (53) بعض التطبيقات التجارية لاشعة الليزر

9- في الاتصالات الليزرية: يستعمل الليزر بشكل مباشر في الجو للاتصالات القريبة وذات المسافات المحدودة فمثلا استعمال الليزر بنجاح لارسال صور تلفزيونية الى مسافات تصل الى حدود 20 km وذلك بسبب ظواهر التشتت والامتصاص التي تحصل لشعاع الليزر عند مروره في الجو بسبب احتوائه على ذرات الغبار وبعض الاجسام الاخرىالتي تسبب تشتتا لحزمة الليزر فلذلك يعد الفضاء الخارجي مجالا مناسبا لارسال حزمة الليزر

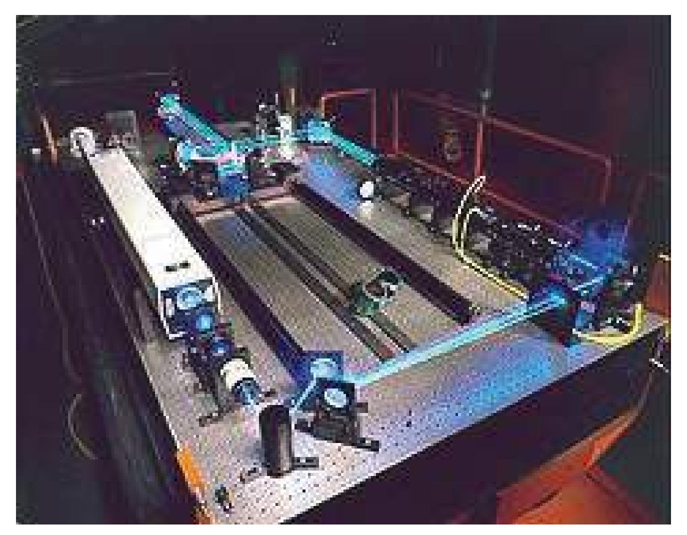
ونقلها إذ يستعمل شعاع الليزر في نقل المعلومات لمسافات بعيدة بوساطة الالياف البصرية، وتعد الاتصالات الليزرية بوساطة الالياف البصرية مناسبة جدا باستعمال طرائق التضمين والكشف، لاحظ الشكل (54).

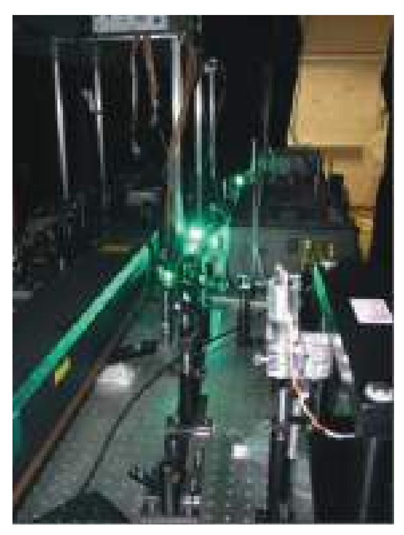




شكل (54) الالياف البصرية

10- يستعمل في مختبرات البحوث التطبيقية، لاحظ الشكل (55).

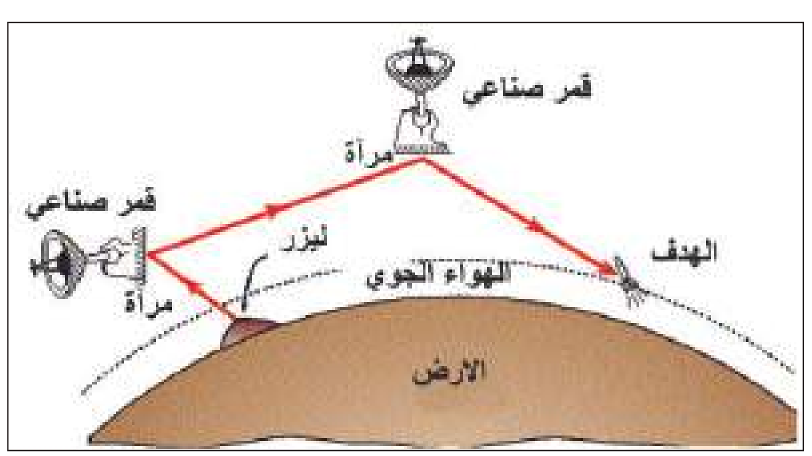




شكل (55) مختبرات البحوث التطبيقية لاشعة الليزر

11- التطبيقات العسكرية: يستعمل في التوجيه والتتبع وقياس المسافات بدقة متناهية سواء المسافات القصيرة او الطويلة وذلك باستعمال أجهزة مقدرة المدى اذ يستعمل الطول الموجي لليزر (YACs) أ و ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون لان لهما القدرة على النفاذ في الجو، لاحظ الشكل (56).





شكل (56) بعض التطبيقات العسكرية لاشعة الليزر

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- يبين انموذج بور للذرة ان:

a- العناصر الغازية متماثلة في اطيافها الذرية.

b- العناصر الصلبة المتوهجة متماثلة في اطيافها الذرية

c- العناصر السائلة المتوهجة متماثلة في اطيافها الذ رية.

d- لكل عنصر طيف ذري خاص به.

2- عندما تثار الذرة بطاقة اشعاعية متصلة فإن الذرة:

a- تمتص الطاقة الاشعاعية كلها.

b- تمتص الطاقة المناسبة لاثارة ذراتها.

c- تمتص الطاقة بشكل مستمر.

d- ولا واحدة منها.

3- نحصل على سلسلة لايمان في طيف الهيدروجين عند انتقال :

a- الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة (E_2, E_3, E_4, E_5) الى المستوى الاول للطاقة.

b- الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة العليا (E_2, E_3, E_4, E_5) الى المستوى الثاني للطاقة.

c- الكترون ذرة الهيدروجين من مستويات الطاقة العليا الى المستوى الثالث للطاقة.

4- في الحالة الطبيعية للمادة وحسب توزيع بولتزمان تكون:

a- معظم الذرات في المستويات العليا للطاقة.

b- معظم الذرات في المستويات الواطئة للطاقة.

c- عدد الذرات في المستوى الارضي اقل من عدد الذرات في المستويات الاعلى للطاقة.

d- عدد الذرات في مستوى التهيج اكبر من عدد الذرات في المستوى الارضي.

5- طيف ذرة الهيدروجين هو طيف:

a- مستمراً .

b- امتصاصاً خطياً.

c- خطياً.

d- حزمياً.

6- مقدار الزيادة في الطول الموجي لفوتونات الاشعة السينية المستطارة بوساطة الالكترونات الحرة تعتمد:

a- طول موجة الفوتون الساقط.

b- سرعة الضوء.

c- كتلة الالكترون.

d- زاوية الاستطارة.

e- نوع المعدن المستطيل.

7- تكون قدرة الضخ عالية عندما تعمل منظومة الليزر بنظام:

a- ثلاثة مستويات. b- مستويين. c- اربعة مستويات. d- اي عدد من المستويات.

8- يمكن استعمال عملية الضخ الكهربائي عندما يكون الوسط الفعال في الحالة:

a- الصلبة. b- الغازية. c- السائلة. d- اي وسط فعال.

9- يحدث الفعل الليزري عند حدوث انبعاث :

a- تلقائي ومحفز. b- محفز وتلقائي. c- تلقائي فقط. d- محفز فقط.

10- تعتمد عملية قياس المدى باستعمال أشعة الليزر على أحد خواصه وهي:

a- التشاكه. b- الاستقطاب. c- آحادية الطول الموجي. d- الاتجاهية.

س2 علل مايأتي :

1- تكون الاطوال الموجية في طيف الامتصاص لعنصر ما موجودة ايضا في طيف انبعاثه.

2- يفضل استعمال الليزر على الطرائق الاعتيادية في عمليات القطع واللحام والتثقيب.

3- تأثير كومبتن هو من احدى الادلة التي تؤكد السلوك الدقائقي للاشعة الكهرومغناطيسية.

4- في انتاج الاشعة السينية، يصنع الهدف من مادة درجة انصهارها عالية جدا.

س3 ما أسس عمل الليزر ؟

س4 وضح كيف يمكن الحصول على التوزيع المعكوس ؟

س5 ما خصائص شعاع الليزر ؟

س6 ما انواع الليزرات الغازية ؟

س7 ما التصوير المجسم (الهولوغرافي) وبماذا يتميز عن التصوير العادي ؟

مسائل الفصل الثامن

س1 احسب الزخم الزاوي لالكترون ذرة الهيدروجين عندما يكون في المدار الاول مرة، وعندما يكون في المدار الثاني مرة اخرى؟

س2 ما مقدار الطاقة بوحدات (eV) لفوتون من ضوء طوله الموجي ($4.5 \times 10^{-7} m$)؟

س3 احسب عدد الذرات في مستوى الطاقة الاعلى في درجة حرارة الغرفة اذا كان عدد ذرات المستوى الارضي 500 ذرة ؟

س4 ما تردد الفوتون المنبعث عند انتقال الكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة ($E_4 = -0.85 ev$) الى مستوى الطاقة ($E_2 = -3.4 ev$)؟

س5 ما الطاقة الحركية العظمى للالكترون وماسرعته في انبوبة اشعة سينية تعمل بجهد (30kv)؟

س6 ما مقداراعظم تردد لفوتون الاشعة السينية المتولد اذا سلط فرق جهد مقداره (40kv)على قطبي الانبوبة؟

س7 ما مقدار الزيادة الحاصلة في طول موجة الفوتون المستطار (في تأثير كومبتن) اذا استطار بزاوية (90^0) مع العلم ان:

ثابت بلانك = 6.63×10^{-34} J.s

كتلة الالكترون = 9.11×10^{-31} kg

سرعة الضوء في الفراغ = 3×10^8 m/s

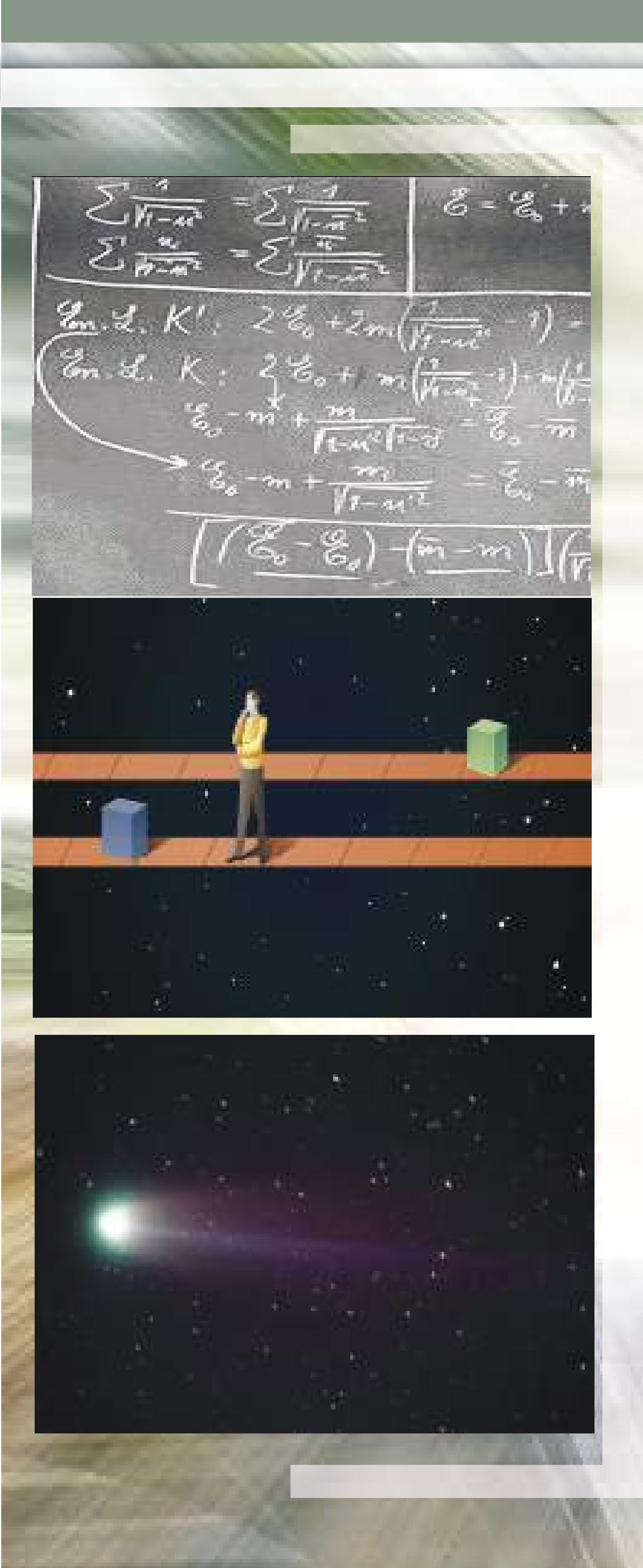
س8 ما الفرق بين طاقة المستوى الارضي وطاقة المستوى الذي يليه (الاعلى منه) بوحدات (eV) لنظام ذري في حالة الاتزان الحراري، اذا كانت درجة حرارة غرفة 16^0C. علماً ان ثابت بولتزمان (k) يساوي

$$1.38 \times 10^{-23} J/k$$

س9 اذا كان الفرق بين مستوى الطاقة المستقر (الارضي) ومستوى الطاقة الذي يليه (الاعلى منه) يساوي (0.025 eV) لنظام ذري في حالة الاتزان الحراري وعند درجة حرارة الغرفة، جد درجة حرارة تلك الغرفة بالمقياس السيليزي. على ان ثابت بولتزمان (k) يساوي 1.38×10^{-23} J/k

الفصل التاسع 9

نظرية النسبية
Relativity Theory



مفردات الفصل:

9-1 مقدمة

9-2 فرضيتا اينشتين في النظرية النسبية الخاصة

9-3 تحويلات غاليلو ومعامل لورنتز

9-4 أهم النتائج المترتبة على النظرية النسبية الخاصة.

9-5 تكافؤ الكتلة والطاقة

9-6 الميكانيك النسبي

الاهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يوضح العلاقة بين الفيزياء التقليدية والفيزياء النسبية.
- يعرف مفهوم معنى أطار الإسناد القصوري.
- يقارن بين تحويلات غاليلو وتحويلات لورنتز.
- يبين تأثير سرعة الجسيمات في قياس الأبعاد الفيزيائية للجسيمات.
- يوضح عامل لورنتز (γ) بدلالة سرع الأجسام المتحركة.
- يذكر بعضا من التطبيقات المهمة للنظرية النسبية وهي:
  - تمدد الزمن.
  - انكماش الطول.
  - الكتلة النسبية.
  - يذكر علاقة رياضية لتكافؤ الكتلة والزخم والطاقة.

المصطلحات العلمية	
النسبية	Relativity
أطر الإسناد القصورية	Inertial frames of Reference
المراقب	Observer
تحويلات غاليلو	Galilean Transformations
عامل لورنتز	Lorentz Factor
تحويلات لورنتز	Lorentz Transformation
نسبية الزمن	Time Dilation
نسبية الطول (انكماش الطول)	Length Contraction
الكتلة النسبية	Relativistic Mass
تكافؤ الكتلة والطاقة	Mass Energy Equivalence

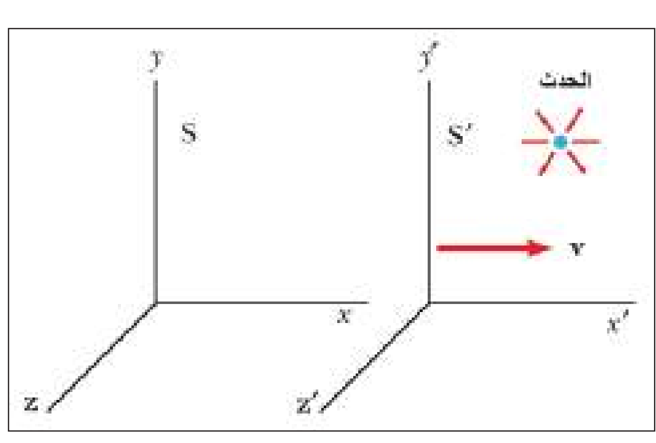
1-9 مقدمة

الفيزياء الكلاسيكية هي فيزياء الأجسام التي تتحرك بسرعات أقل بكثير من سرعة الضوء في الفراغ والتي تخضع لقوانين نيوتن أما الأجسام التي تتحرك بسرعات عالية جدا والتي تقترب من سرعة الضوء فهي تخضع لقوانين النظرية النسبية. تُعد النظرية النسبية الخاصة التي اقترحها العالم اينشتين عام 1905 من أكثر النظريات الفيزيائية إثارة إذ إنها أحدثت العديد من التغييرات على مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وطبيعة الجسيمات النووية و بعض الظواهر الكونية.

تعتمد النظرية النسبية على مفهوم اطر الإسناد (Frame of References)، وإطار الإسناد ببساطة هو الموقع الذي يقوم فيه شخص ما برصد حدث ما في زمن معين. هذا الشخص سنطلق عليه تسمية مراقب (observer) لانه يرصد الحدث ويقوم بالقياسات.

ووفقا للنظرية النسبية فان رصد حدث ما في الفضاء بدقة يتم بتحديد موقعه وزمنه باستعمال اربعة احداثيات هي (x ، y، z ، t) اذ تمثل (x ، y ، z) احداثيات الموقع أما (t) فهو احداثي الزمن الذي تم فيه القياس.

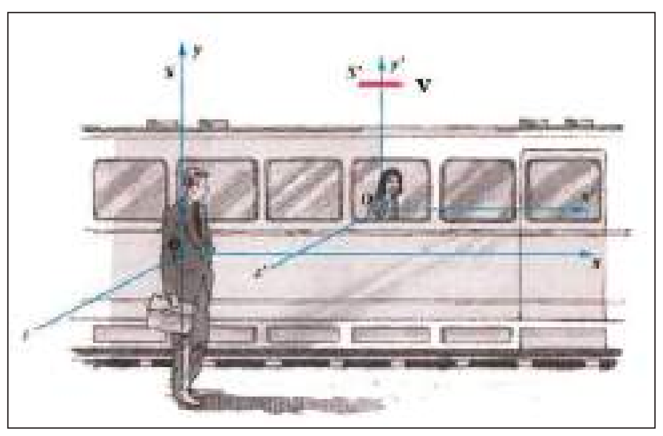
فعلى سبيل المثال عند وصف حدث فيزيائي معين نعتمد اطار اسناد يسمى (S) وعندما تتحرك الاجسام بسرعة ثابتة نسبة لبعضها بعض فيطلق على هذه الاطر المتحركة اطر الاسناد القصورية والشكل (1) يبين اطاري الاسناد (S) و (S') اذ يكونان متطابقين في لحظة بدء القياس، ويتحرك اطار الاسناد (S') بسرعة ثابتة (V) نسبة الى اطار الاسناد (S) وباتجاه المحور X.



شكل (1) أطاري الاسناد S` و S.

قد يتبادر الى ذهننا التساؤل الآتي: كيف تنظر النظرية الكلاسيكية والنظرية النسبية الى مفهوم الحركة النسبية؟

للاجابة على ذلك نفترض ان مراقبا في اطار اسناد معين يراقب حدثا في اطار اسناد اخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبة لإطار اسناده كما موضح في الشكل (2).



شكل (2) شخص في اطار ثابت (S) يراقب شخص اخر في اطار متحرك (S`)

ان الميكانيك الكلاسيكي افترض ان الزمن المقاس للحدث هو ذاته في كلا الاطارين القصوريين وان قياس الزمن يسير بالمعدل نفسه بغض النظر عن سرعة حركة

اطاري الاسناد اي ان المدة الزمنية بين حدثين متعاقبين يجب ان تكون واحدة لكلا الراصدين، وعلى الرغم من ان هذا الفرض ربما يبدو واضحا وفقا للنظرية الكلاسيكية الا انه يصبح غير صحيح عندما تكون فيها سرعة حركة الجسم مقاربة او يمكن مقارنتها بسرعة الضوء إذ يجب في هذه الحالة اعتماد فرضيات النظرية النسبية.

2-9 فرضيتا اينشتين في النظرية النسبية الخاصة

تعتمد النظرية النسبية الخاصة على فرضيتين أو مبدأين أساسيين هما:

1- ان قوانين الفيزياء يجب ان تكون واحدة في جميع أطر الاسناد القصورية.

ومعنى هذا ان اي نوع من القياسات التي تجرى في اطار اسناد في حالة سكون لابد ان تعطي نتيجة واحدة عندما تجرى في اطار اسناد اخر يتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة للأول.

2- سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابت $(c = 3\times10^8 \, m/s)$ في جميع أطر الاسناد القصورية بغض النظر عن سرعة المراقب أو سرعة مصدر انبعاث الضوء.

هل تعلم

ان البرت اينشتاين قد نشر نظريته النسبية الخاصة عام 1905 وكان عمره انذاك ستة وعشرين عاماً. وفي عام 1915 نشر نظريته النسبية العامة والتي عالجت موضوع الجاذبية الكونية وادخل تعبير الزمكان والذي يعبر عن تلازم الزمان والمكان.حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921 وذلك عن تفسيره للظاهرة الكهروضوئية.

تعتبر هذه الفرضية استنتاجا مهما للتجربة المشهورة التي أجراها العالمان مايكلسون ومورلي عام 1887 والتي أثبتت أن سرعة الضوء ثابتة عند انتقاله بالاتجاهات المختلفة إذ لا يتوافر الأثير (وهو وسط افتراضي هلامي غير مرئي كان يعتقد سابقاً انه يملأ الفضاء اذ تم في حينه افتراضه لتفسير الآلية التي ينتقل بها الضوء).

3-9 تحويلات غاليلو ومعامل لورنتز Galilean transformations and Lorentz Factor

عندما يتحرك حدث ما في الفضاء بسرعة ثابتة (في اتجاه محور x مثلا) ولقياس هذا الحدث اعتمدت الفيزياء الكلاسيكية على تحويلات غاليلو التي ارتكزت في حينها على شروط أساسية ثلاثة بالنسبة للعلاقة بين اطاري الاسناد (s, s') وهي:

1	2	3
توازي المحاور $X // X'$ $Y // Y'$ $Z // Z'$	السرعة التي يتحرك بها الاطار S' تكون ثابتة $v = constant$	ثبات مقدار الزمن في جميع الاطر القصورية $t = t'$

وبعد ذلك تبنى اينشتاين تحويلات اخرى هي تحويلات لورنتز (Lorentz Transformation) إذ برهن لورنتز من دراسته لحركة الجسيمات المادية في المجال الكهرومغناطيسي بان لسرعة الجسيمات تاثير مهم جدا في قياس الابعاد الفيزيائية للجسم وبرهن بوجود عامل تصحيحي يجب اعتماده في علاقة احداثيات اطاري الاسناد (S و S')

وقد اطلقت تسمية معامل لورنتز (Lorentz Factor) على العامل التصحيحي (γ) ويعطى بالعلاقة الآتية:

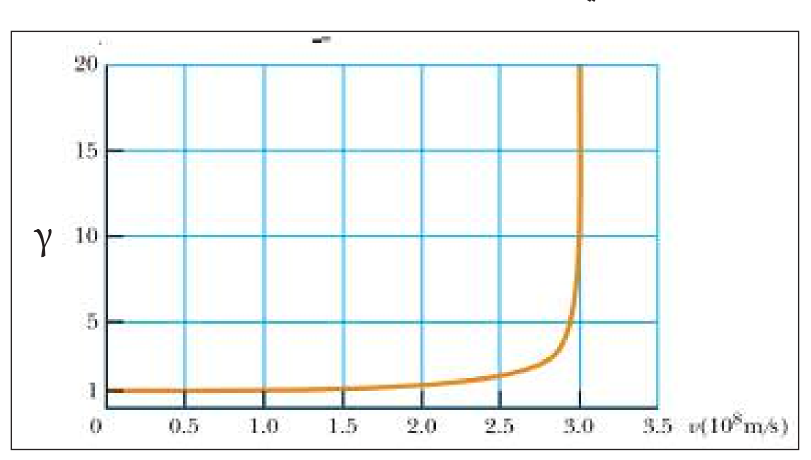
معامل لورنتز $$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

إذ تمثل (v) سرعة الجسيم و c سرعة الضوء في الفراغ.

والجدول (1)، يمثل قيم (γ) بدلالة سرع مختلفة كذلك الشكل (4)، يمثل رسم بياني لقيم (γ) بدلالة سرع مختلفة.

جدول (1) يمثل قيم (γ) بدلالة نسبة $\frac{v}{c}$

v/c	γ
0.001 0	1.000 000 5
0.010	1.000 05
0.10	1.005
0.20	1.021
0.30	1.048
0.40	1.091
0.50	1.155
0.60	1.250
0.70	1.400
0.80	1.667
0.90	2.294
0.92	2.552
0.94	2.931
0.96	3.571
0.98	5.025
0.99	7.089
0.995	10.01
0.999	22.37



شكل (4) قيم γ بدلالة سرعة مختلفة. عند اقتراب السرعة من سرعة الضوء نلاحظ اقتراب قيم γ من اللانهاية

هل تعلم

الشكل يبين راكب الشاحنة يشاهد عملية رمي الكرة الى اعلى وسقوطها شاقولياً. اما المراقب الخارجي فالأمر له مختلف تماما فان حركة الكرة تبدو له وفقاً للمنحني المؤشر في الجهة اليمنى.



4-9 أهم النتائج المترتبة على النظرية النسبية الخاصة
The most important Consequences of the spacial Theory of relativity

اذا اخذنا بعين الاعتبار الفيزياء الكلاسيكية فان قياس بعض الكميات الفيزيائية كالطول والزمن والكتلة لايعتمد على سكون او حركة الراصد الذي يقوم بعملية القياس، اما في حالة فيزياء النظرية النسبية فان الاجسام المتحركة بسرعة تقترب من سرعة الضوء بالنسبة لراصد ساكن تعاني تغيرا في مقادير هذه الكميات.

إن القوانين النسبية التي سنعرضها يمكن تطبيقها على سرع الأجسام المتحركة كافة سواء تلك ذي السرع العالية جداً ولغاية الاقتراب من سرعة الضوء، وسوف نتناول بعض من التطبيقات المهمة للنظرية النسبية وهي تمدد الزمن والانكماش الطولي والكتلة النسبية وتكافؤ الكتلة والزخم والطاقة والتي تتأثر قيمها كما سنرى تبعا لسرعة الجسم.

1-4-9 نسبية الزمن (او تمدد الزمن) Time Dilation

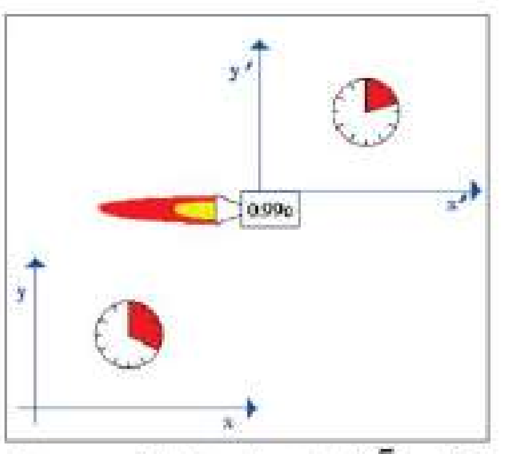
في الميكانيك الكلاسيكي لا يعتمد زمن حدوث حدث فيزيائي على حركة من يرصد هذا الحدث، أما بالنسبة لفيزياء النظرية النسبية الخاصة فان زمن حدوث حدث ما يختلف بحسب وضع الراصد، فالزمن الذي سجله الراصد المتحرك يختلف عن الزمن الذي سجله راصد ساكن وان العلاقة بين الزمن الذي سجله راصد متحرك بنفس سرعة الحدث (t) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$t = \frac{t_\circ}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

إذ إن: $t_\circ$ يمثل زمن الحدث الذي يسجله راصد متحرك بنفس سرعة الحدث.

t : يمثل الزمن الذي يسجله راصد ساكن.

ونلاحظ من الشكل (5) أن زمن الحدث الذي يسجله راصد متحرك بنفس سرعة الحدث أقل من الزمن الذي يسجله راصد ساكن (الحادث متحرك بالنسبة له).



شكل (5) زمن الحدث الذي يسجله راصد ساكن وراصد متحرك.

مثال (1)

سافر رائد فضاء بسرعة ثابتة مقدارها 0.99 c اي قريبة جداً من سرعة الضوء ثم عاد الى الأرض بعد أن أمضى في سفره وبحسب تقويمه الخاص داخل مركبته خمس سنوات. احسب عمره كما يراه اهل الأرض.

الحل

بتطبيق معادلة الزمن النسبي وكما يلي:

$$t = \frac{t_\circ}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow t = \frac{5}{\sqrt{1-\frac{(0.99c)^2}{c^2}}} = 35.4 \text{ year}$$

أي إن مدة السنوات الخمس التي قضاها في السفر عادلت فترة 35.4 year قضاها اقرانه على الأرض.

مثال (2)

من المعلوم ان اقرب نجم الى المنظومة الشمسية هو النجم سانتوري يبعد عن الارض (4.3 Light year) سنة ضوئية.

جد:

1– السرعة التي يمكن لسفينة فضائية بالوصول الى هذا النجم خلال (7.448 year) كما يقيسها ركاب السفينة انفسهم.

2– الفترة الزمنية المقاسة من قبل سكان الارض.

علماً ان : سرعة الضوء في الفراغ تساوي ($3\times10^8 m/s$)، $\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=1.155$

وان LY تعني Light year (سنة ضوئية).

الحل

(1)

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=1.155$$

$$\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}=1.334$$

$$\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}=\frac{4}{3}$$

$$3=4-4(\frac{v^2}{c^2})$$

$$4(\frac{v^2}{c^2})=1$$

$$\frac{v^2}{c^2}=\frac{1}{4} \qquad c$$

$$\frac{v}{c}=\frac{1}{2}$$

$$v=0.5c=0.5\times3\times10^8$$

$$v=1.5\times10^8 m/s$$ سرعة سفينة الفضاء

(2)

$$t=\frac{t_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t=t_o\gamma$$

$$=7.448\times1.155$$

$$t=8.6\,year$$ الزمن المقاس من قبل سكان الارض

حل اخر

$$t=\frac{x}{v}=\frac{4.3LY}{1.5\times10^8}$$

$$t=\frac{4.3\times3\times10^8\times365\times24\times3600}{1.5\times10^8}$$

$$t=\frac{40.68\times10^{15}m}{1.5\times10^8}$$

$$t=2.712\times10^8 s$$

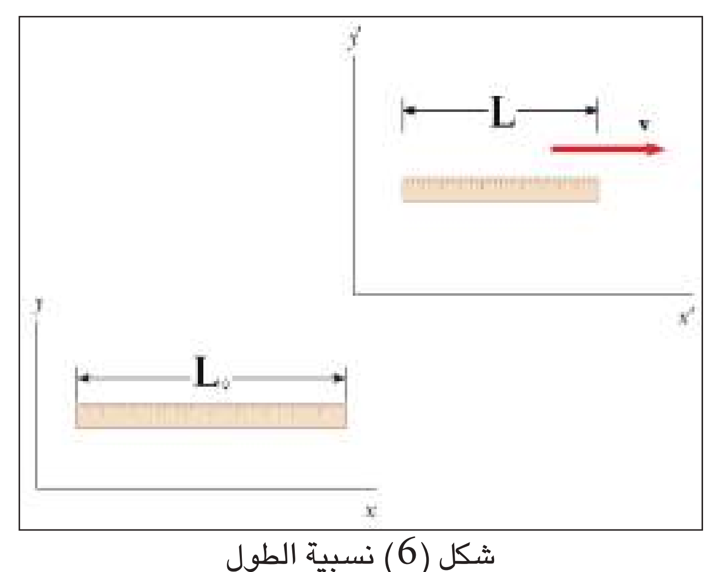
$$t=\frac{2.712\times10^8}{365\times24\times3600}$$

$$t=8.6\,year$$

2-4-9 نسبية الطول (او انكماش الطول) Length Contraction

لقد اتضح لنا أن الفترات الزمنية ليست بفترات ثابتة بل تختلف قياساتها باختلاف اطر الإسناد المتحركة التي يتم فيها القياس وينطبق هذا أيضا على الأطوال.

فقياس طول معين في اطار اسناد ثابت مختلف عن القياسات اذا كان اطار الاسناد متحرك اذ ان الاجسام المتحركة بالنسبة لراصد ساكن تعاني انكماشاً (تقلصا في الطول) باتجاه حركتها لاحظ الشكل (6).



شكل (6) نسبية الطول

ومعنى هذا أن أكبر طول يمكن قياسه لجسم ما هو في أثناء سكونه، ومقدار طول الجسم المتحرك (L) مقارنة بطوله وهو ساكن (L_o) يعطى بالعلاقة التالية:

$$L = L_\circ\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

لأن المقدار داخل الجذر هو دائماً أقل من الواحد فإن الطول النسبي L يكون دائماً أقل من الطول الحقيقي L_o .

مثال (3)

سفينة فضائية طولها على الأرض 50 m فكم يصبح طولها عندما تتحرك بسرعة 0.9 c ؟

الحل

بتطبيق قانون الطول النسبي فإن:

$$L = L_\circ\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$L = 50\sqrt{1-\frac{(0.9c)^2}{c^2}} = 21.8\text{m}$$

مثال (4)

جسم طوله 4m في حالة سكون، احسب طوله الذي يقيسه راصد ساكن عندما يتحرك الجسم بسرعة تعادل 0.7 من سرعة الضوء (اي 0.7c) ؟

الحل

بتطبيق قانون الطول النسبي فإن:

$$L = L_{\circ}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$L = 4\sqrt{1-\frac{(0.7c)^2}{c^2}} = 4\times 0.71 = 2.85m$$

سؤال:

افترض ان هذا الجسم يتحرك بسرعة $600\ km/h$، كم يكون طوله المقاس عندئذ من قبل راصد ساكن؟

3-4-9 الكتلة النسبية (تغير الكتلة مع السرعة) Relativistic Mass

من النتائج الاخرى المهمة للنظرية النسبية الخاصة هي اعتبار الكتلة كدالة من دوال السرعة اي ان الكتلة ليست كمية ثابتة بل هي مقدار متغير تبعا لسرعتها ويمكن حساب تغير الكتلة على وفق العلاقة الآتية:

$$m = \frac{m_{\circ}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

تذكر

إن الكتلة السكونية للفوتون تساوي صفراً.

إذ إن:

$m_{\circ}$ هي كتلة الجسم في حالة السكون (الكتلة السكونية).

m هي كتلة الجسم المتحرك بسرعة v (اي الكتلة النسبية).

نستنتج من العلاقة المذكورة انفاً أن الكتلة النسبية هي أكبر من الكتلة السكونية، أي ان كتلة الجسم المتحرك تزداد بزيادة سرعته.

وعندما تكون سرعة الجسم صغيرة جداً مقارنة بسرعة الضوء $(v << c)$ فإن:

$m \approx m_{\circ}$ اي لا يمكن ملاحظة التغير الحاصل في الكتلة وكما يوضحه المثال الآتي:



جسم كتلته $1kg$. احسب كتلته في الحالات الثلاث الآتية:

a) إذا كانت سرعته تساوي $1000\ m/s$

b) إذا كانت سرعته تساوي $0.9\ c$

c) إذا كانت سرعته تساوي $0.99\ c$

الحل

بتطبيق قانون الكتلة النسبية للحالات الثلاثة:

$$m = \frac{m_\circ}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

نجد أن كتلة الجسم تصبح:

$$a)\quad m = \frac{1kg}{\sqrt{1-(\frac{10^3}{3\times10^8})^2}} = 1.000000000005\,kg$$

$$b)\quad m = \frac{1kg}{\sqrt{1-0.9^2}} = 2.2942\,kg$$

$$c)\quad m = \frac{1kg}{\sqrt{1-0.99^2}} = 7.0888\,kg$$

نستنتج من النتائج المذكورة انفاً أنه في السرع الصغيرة نسبة إلى سرعة الضوء فإنه لايمكن التحسس بزيادة الكتلة أما في السرع القريبة من سرعة الضوء فإن الامر يختلف كثيراً وهذا بعض مما اثبتته التجارب في الفيزياء النووية.

ومن الجدير بالذكر ان الفيزياء النووية قد أسهمت كثيراً في اثبات صحة هذه القوانين ومن أهم التجارب الملموسة هي في مجالات الاشعاعات النووية وهي الجسيمات المنطلقة من بعض المواد المشعة مثل اليورانيوم او الراديوم وهي دقائق مادية متناهية في الصغر تنطلق بسرع قريبة من سرعة الضوء فتزداد كتلتها بما يتفق مع المعادلة المذكورة آنفا.

5-9 تكافؤ الكتلة والطاقة Mass Energy Equivalence

استطاع العالم اينشتاين من وضع معادلته الشهيرة: $E=mc^2$

وتنص هذه المعادلة على أن مقداراً ضئيلاً جداً من الكتلة يعطي طاقة هائلة فالطاقة الناتجة من كتلة معينة تساوي حاصل ضرب هذه الكتلة في مربع سرعة الضوء مما ينتج عنه كمية كبيرة جداً من الطاقة.

لقد فسرت هذه المعادلة سر طاقة النجوم وعمرها الطويل فهي تفقد كمية قليلة جداً من مادتها لتعطي طاقة تمد به الفضاء المحيط بها بأجمعه.

واستطاع الإنسان استعمال مبدأ هذه المعادلة في بناء وتشغيل المفاعلات النووية وكذلك في إنتاج الأسلحة النووية، إذ يعتمد الاثنان على مبدأ الانشطار النووي إذ إن النواة المنشطرة الواحدة تحرر طاقة مقدارها نحو 200 MeV اي ما يعادل 3.2×10^{-11} J وهذه الطاقة المتحررة تنتج عن استهلاك 3.56×10^{-28} kg من المادة فقط.

مثال (6)

ما كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها عند تحول غرام واحد كلياً من المادة الى طاقة؟ وكم شهراً تكفي هذه الطاقة ؟ اذا كان معدل الاستهلاك هو 1000 kwh في الشهر الواحد، فكم شهراً تكفي هذه الطاقة ؟

الحل

باستعمال القانون $E=mc^2$

$$E = 1\times10^{-3}\times(3\times10^{8})^2 = 9\times10^{13} J$$

إن هذا المقدار كبير جداً وبالامكان مقارنته بكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من قبل عائلة عراقية فاذا كان معدل الاستهلاك هو 1000 kwh في الشهر الواحد فإن هذا يعادل 3.6×10^{9} J وبقسمة الطاقة المنتجة على الطاقة المستهلكة نحصل على عدد الاشهر المكافئة أي:

$$\frac{9\times10^{13}}{3.6\times10^{9}} = 2.5\times10^{4}\,\text{months}$$

وهذا يعني أن الطاقة الناتجة من تحول غرام واحد فقط من المادة الى طاقة ستكفي هذه العائلة لاكثر من الفي سنة كتشغيل كهربائي.

هل تعلم

إن نسبة ما تفقده الشمس في الثانية الواحدة من كتلتها هو 2.191×10^{-21} فقط وهذا يعادل أكثر من أربعة مليارات كيلوغرام (4.2×10^{9} kg). وإن هذه الطاقة المنتجة تكفي لاستهلاك جميع دول العالم من الكهرباء لمدة مليون سنة.

6-9 الميكانيك النسبي Relativistic Mechanic

قد نتساءل عن مدى تأثر بقية المفاهيم الفيزيائية كالطاقة الكلية والطاقة الحركية والعزوم بالنظرية النسبية.

إن نظرية النسبية تؤكد على ضرورة تغيير صيغ وقوانين معظم المفاهيم الخاصة بالفيزياء الكلاسيكية بالنسبة إلى الأجسام المتحركة بسرعة عالية جدا الى صيغ وقوانين نسبية:

1-6-9 الزخم النسبي الخطي Relativistic Linear Momentum

إن الزخم النسبي الخطي (P_{rel}) لجسيم كتلته النسبية (m) يتحرك بسرعة مقدارها (v) يعطى بالعلاقة الآتية:

الزخم النسبي الخطي

$$P_{rel} = mv = \frac{m_o v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

إذ m هي الكتلة النسبية للجسم و v السرعة التي يتحرك بها الجسم اما m_o فهي كتلة الجسم السكونية.

2-6-9 الطاقة الحركية النسبية Relativistic Kinetic Energy

إن مقدار الطاقة الحركية النسبية $(KE)_{rel}$ كما برهنها اينشتاين تساوي الفرق بين الطاقة النسبية الكلية للجسيم المتحرك بسرعة v والطاقة السكونية للجسيم $(m_o c^2)$ أي إن طاقته الحركية لا تساوي $(\frac{1}{2}mv^2)$ كما هي الحال في الميكانيك الكلاسيكي بل إنها تساوي طاقته النسبية مطروحا منه طاقته السكونية، أي إن:

$$(KE)_{rel} = mc^2 - m_o c^2$$

الطاقة الحركية النسبية

$$(KE)_{rel} = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) m_o c^2$$

إذ إن :

$(KE)_{rel}$ تمثل الطاقة الحركية النسبية للجسيم.

mc^2 تمثل الطاقة النسبية الكلية للجسيم المتحرك بسرعة v.

$m_o c^2$ تمثل الطاقة السكونية للجسيم.

3-6-9 الطاقة النسبية الكلية Total Relativistic Energy

إن الطاقة النسبية الكلية E_{rel} لجسيم يتحرك بسرعة (V) تساوي حاصل جمع الطاقة الحركية النسبية $(KE)_{rel}$ والطاقة السكونية $m_{\circ}c^2$ لذلك الجسيم.

$$E_{rel} = (KE)_{rel} + m_{o}c^2$$

وبالتعويض عن مقدار الطاقة الحركية النسبية المذكورة آنفاً نحصل على:

$$(E)_{rel} = \frac{m_{\circ}c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{الطاقة النسبية الكلية}$$

نلاحظ بوضوح أنه في حالة الجسيم الساكن (سرعته تساوي صفرا) وفي أي اطار اسناد فان الطاقة الكلية النسبية للجسيم تساوي $E_{rel} = m_{\circ}c^2$ ، ونستنتج من علاقة اينشتاين هذه بان الطاقة الكلية النسبية للجسيم الساكن تساوي الطاقة السكونية له.

4-6-9 العلاقة بين الطاقة والزخم Equivalence of Energy and Momentum

بتطبيق العلاقات النسبية للطاقة الكلية والزخم الخطي الآتية:

$$(E)_{rel} = \frac{m_{\circ}c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad ، \quad P_{rel} = \frac{m_{\circ}v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

يمكن ايجاد العلاقة الآتية:

$$(E_{rel})^2 = (P_{rel})^2\ c^2 + m_0^2\ c^4$$

تستعمل هذه المعادلة بشكل خاص في الدراسات الخاصة بالأنوية والذرات. وعادة تستعمل وحدات الالكترون فولط (eV) او مضاعفاته $(MeV = 10^6\ eV)$. أما وحدات الزخم فيعبر عنها بوحدات (eV/c) او (MeV/c)، كما تستعمل وحدات (eV/c^2) او (MeV/c^2) للتعبير عن الكتلة.

س1 اختر الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1- أي من الكميات التالية تُعد ثابتة حسب النظرية النسبية:

a- سرعة الضوء   b- الزمن   c- الكتلة   d- الطول

2- تطلق مركبة فضائية سرعتها 0.9c (0.9من سرعة الضوء) شعاعاً ضوئياً فالسرعة النسبية لهذا الشعاع الذي يقوم برصده طاقم مركبة فضائية أخرى تسير بشكل موازٍ للمركبة الفضائية الأولى وبالاتجاه نفسه وبالسرعة نفسها.

a- 0.9c   b- 1.8c   c- 1.6c   d- c

3- وفقاً لنظرية اينشتاين النسبية الخاصة فإن:

a- الزمان والمكان هما تعبيران متلازمان.   b- الطاقة والكتلة هما تعبيران متلازمان.

c- الزمان والطاقة تعبيران متلازمان.   d- الطاقة والكتلة تعبيران غير متلازمان.

4- وفقاً لنظرية اينشتاين النسبية الخاصة فأن جميع قوانين الفيزياء واحدة في اطر القياس التي تكون سرعها:

a- بتعجيل منتظم   b- منتظمة وثابتة   c- غير منتظمة ومتذبذبة   d- دورانية

5- الطاقة الحركية النسبية تساوي:

a- $\frac{1}{2}mv^2$ b- $\frac{1}{2}mc^2$ c- $(m-m_o)\ c^2$ d- $(v^2-c^2)\ m_o$

6- الطاقة النسبية الكلية تساوي:

a- $m^2 - m_o c^2$

b- $Pc - m_o c^2$

c- $(P_{rel})^2\ c^2 + m_0^2\ c^4$

d- $m_o c^2 + (KE)_{rel}$

7- وفقا لمعادلة اينشتاين الشهيرة بتكافؤ الكتلة والطاقة فإن:

a- $E= m^2 c$ b- $E = c^2m^2$

c- $E = mc^2$ d- $E = mc$

8- ساعة تدق دقة واحدة كل ثانية، فإذا كان طول الساعة 10cm عندما تكون في حالة السكون، فإذا تحركت هذه الساعة بسرعة (0.8c) موازية إلى طولها نسبة إلى راصد ساكن، فإن الراصد يقيس الدقات وطول الساعة كالتالي تكون:

a) اكبر من (1s) وأطول من (10cm).

b) اقل من (1s) وأطول من (10cm).

c) اكبر من (1s) واقصر من (10cm).

d) اقل من (1s) واقصر من (10cm).

9- وضعت ساق بموازاة المحور x وتحركت الساق بموازاة هذا المحور أيضاً بانطلاق مقداره 0.8c فكان طولها الظاهري 1m فان طولها في اطار إسناد ساكن يكون:

a) 0.5 m b) 1.666 m c) 0.7 m d) 0.8 m

10- اذا كنت في صاروخ متحرك بانطلاق 0.7c باتجاه نجم فاي انطلاق سوف يصلك ضوء هذا النجم:

a) اصغر من c

b) اكبر من c

c) بسرعة الضوء في الفراغ

س2 جسيم يتحرك بسرعة منتظمة ثابتة $v = 0.6c$ ما النسبة بين مقدار الزخم النسبي (P_{rel}) ومقدار الزخم الكلاسيكي (P_{cla}) ؟

س3 ما الفرق الأساسي بين تحويلات غاليلو والتحويلات النسبية ؟

س4 هنالك قول يقول إن المادة لا تفنى ولا تستحدث فهل تعتقد إن هذا صحيح ؟

مسائل الفصل التاسع

1– باتحاد غرام واحد من الهيدروجين مع ثمانية غرامات من الأوكسجين يتكون تقريباً تسعة غرامات من الماء مع تحرر كمية 2.86×10^{5} J من الطاقة، احسب كمية الكتلة المتحولة نتيجة هذا التفاعل.

2– إذا كان مقدار الطاقة المنتجة من الشمس في الثانية الواحدة هي 3.77×10^{26} W فما مقدار ما تفقده الشمس من كتلة في الثانية الواحدة.

3– يرسل رواد فضاء رسالة إلى محطة مراقبة على الأرض يبلغونهم أنهم سينامون ساعة واحدة ثم يعاودون الاتصال بهم بعد ذلك مباشرة فإذا كانت سرعة المركبة 0.7c بالنسبة للأرض فما الزمن الذي يستغرقه رواد المركبة في النوم كما يقيسه مراقبون في محطة المراقبة على الأرض.

4– مسطرة طولها 1m ما طولها عندما تسير بسرعة تبلغ نصف سرعة الضوء باتجاه طولها بالنسبة لراصد ساكن على سطح الأرض ؟

5– إذا كان طول مركبة فضائية 25m عندما تكون ساكنة على سطح الأرض و 15m عند مرورها بسرعة بالنسبة لراصد ساكن على سطح الأرض فما سرعة هذه المركبة الفضائية؟

6– ما الزيادة في كتلة بروتون $(m_o=1.67\times10^{-27}kg)$ اذا كانت سرعته تساوي 0.9c؟

7– ما السرعة المطلوبة لزيادة كتلة جسم ما بمقدار 10% من كتلته السكونية؟

8– برهن على ان الزيادة المئوية لكتلة جسم تساوي 15.47% إذا تحرك الجسم بسرعة تساوي نصف سرعة الضوء.

9– يتحرك جسم طوله 2m بسرعة معينة مقدارها v ، فإذا علمت ان راصداً ساكناً بالنسبة إلى الجسم قد قاس طوله فوجده يساوي 0.8m فكم هي السرعة التي يتحرك بها الجسم؟

10– ما سرعة جسيم طاقته الحركية النسبية تساوي ثمانية أمثال طاقة كتلته السكونية ؟

11– ما سرعة إلكترون إذا كانت طاقته الحركية النسبية تساوي 1.0 MeV؟

علما بان كتلة الإلكترون السكونية تساوي 9.11×10^{-31} kg ، $(1MeV=1.6\times10^{-13}\,J)$.

12– سفينة فضاء سرعتها 0.999c انطلقت من الارض الى النجم سانتوري الذي يبعد عن الارض مسافة 4.3×10^{16} m. احسب زمن الذهاب والاياب الذي تسجله ساعة مثبتة في السفينة وقارن بالزمن الذي تسجله الساعات الارضية.

الفصل العاشر 10

الفيزياء النووية

Nuclear physics







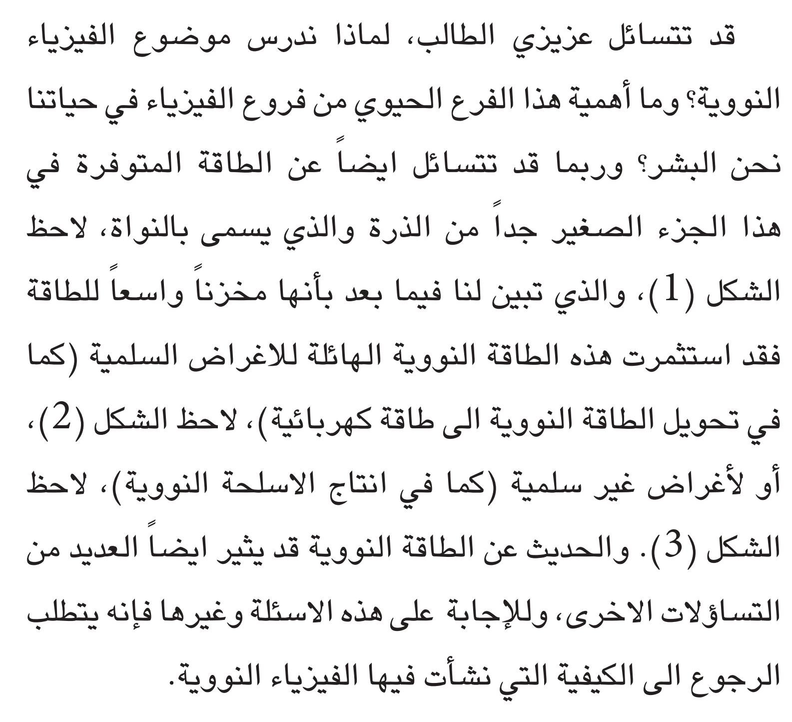
مفردات الفصل:

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يذكر الخصائص الرئيسة للنواة.
- يذكر بعض خصائص القوة النووية.
- يعرف مفهوم طاقة الربط النووية.
- يعلل انحلال بعض النوى تلقائيا بانحلال الفا.
- يعرف الطرائق التي تنحل بها بعض النوى تلقائيا بانحلال بيتا.
- يعلل انحلال بعض النوى تلقائيا بانحلال كاما.
- يتعرف على طاقة التفاعل النووي.
- يدرك أهمية تفاعل النيوترونات مع النواة.
- يوضح المفهوم بالانشطار النووي.
- يوضح المفهوم بالاندماج النووي.
- يذكر فوائد الاشعاع النووي.
- يحدد مخاطر الاشعاع النووي.
- يحل مسائل رياضية متنوعة.

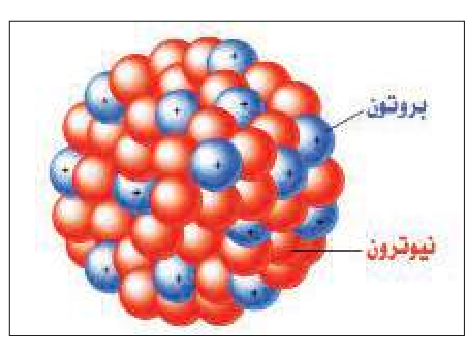
المصطلحات العلمية	
atomic number	العدد الذري
antineutrino	مضاد النيوترينو
antielectron	مضاد الالكترون
daughter nucleus	النواة الوليدة (البنت)
chain reaction	التفاعل المتسلسل
radius of nucleus	نصف قطر النواة
endoergic reaction	التفاعل الماص للطاقة
exoergic reaction	التفاعل المحرر للطاقة
size of nucleus	حجم النواة
mass of nucleus	كتلة النواة
neutron number	عدد النيوترونات
average binding energy per nucleon	معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون
nuclear force	القوة النووية
mass defect	النقص (الفرق) الكتلي
(proton-proton) cycle	دورة (بروتون - بروتون)
parent nucleus	النواة الأم
nuclear reaction energy	طاقة التفاعل النووي
neutrino	النيوترينو
mass number	العدد الكتلي
positron	البوزترون
natural background radiation	الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي



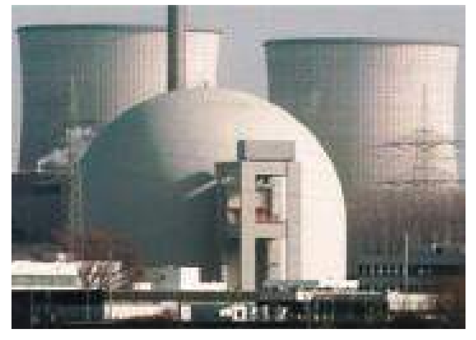
قد تتسائل عزيزي الطالب، لماذا ندرس موضوع الفيزياء النووية؟ وما أهمية هذا الفرع الحيوي من فروع الفيزياء في حياتنا نحن البشر؟ وربما قد تتسائل ايضاً عن الطاقة المتوفرة في هذا الجزء الصغير جداً من الذرة والذي يسمى بالنواة، لاحظ الشكل (1)، والذي تبين لنا فيما بعد بأنها مخزناً واسعاً للطاقة فقد استثمرت هذه الطاقة النووية الهائلة للاغراض السلمية (كما في تحويل الطاقة النووية الى طاقة كهربائية)، لاحظ الشكل (2)، أو لأغراض غير سلمية (كما في انتاج الاسلحة النووية)، لاحظ الشكل (3). والحديث عن الطاقة النووية قد يثير ايضاً العديد من التساؤلات الاخرى، وللإجابة على هذه الاسئلة وغيرها فإنه يتطلب الرجوع الى الكيفية التي نشأت فيها الفيزياء النووية.

يعد العام (1896) لدى معظم علماء الفيزياء والباحثين على انه العام الذي بدأ معه ميلاد الفيزياء النووية فقد اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل النشاط الاشعاعي الطبيعي في مركبات اليورانيوم، وبعد ذلك في عام (1911) اقترح العالم رذرفورد النموذج النووي للذرة فقد افترض ان الشحنات الموجبة تتركز في حيز صغير جداً موجود في مركز الذرة اطلق عليه اسم نواة، لاحظ الشكل (4).

ومن ثم توالت الاكتشافات والانجازات العلمية التي حدثت لاحقاً والتي أدت بالنتيجة الى فتح آفاق جديدة وعديدة ليس أمام الفيزياء النووية فقط بل أمام الكثير من التخصصات العلمية والحياتية منها الطبية والصناعية والزراعية وغيرها الكثير. وسنقوم في هذا الفصل بدراسة بعض الملامح الاساسية للنواة، فضلاً عن أننا سنقوم بالتعرف على عدد من التطبيقات الخاصة بها.



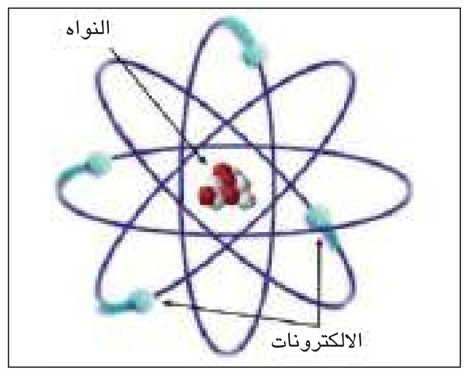
شكل (1) نواة الذرة



شكل (2) مفاعل نووي لانتاج الطاقة الكهربائية



شكل (3)



شكل (4) الذرة

2-10 تركيب النواة وخصائصها
Structure and properties of the nucleus:

حاول الكثير من العلماء معرفة مكونات النواة، وقد مر عليك ذلك سابقاً، فقد علمت ان النواة تتكون من جسيمات البروتونات الموجبة الشحنة وجسيمات النيوترونات المتعادلة الشحنة (شحنة النيوترون تساوي صفراً) إذ يطلق على البروتون أو النيوترون بالنيوكليون (أو بالنوية)، أي إن النواة تتكون من النيوكليونات. ويرمز للبروتون بالرمز ($^{1}_{1}H$) أو (p) وفي بعض الاحيان ($^{1}_{1}p$)، ويرمز للنيوترون بالرمز ($^{1}_{0}n$)او(n).

وكما علمت أيضاً أن عدد البروتونات في النواة يسمى العدد الذري(Z)ويكتب عادة يسار رمز العنصر (أو رمز النواة) من الأسفل، وأن عدد النيوترونات في النواة يسمى بالعدد النيوتروني (N)، أما مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة فيسمى العدد الكتلي (A) (وفي بعض الاحيان يسمى بعدد الكتلة) ويعطى على وفق العلاقة الآتية:

$$A = Z + N$$

كما ويكتب العدد الكتلي (A) عادة يسار رمز النواة (X) الى أعلى وعلى الشكل الآتي:

$$^{A}_{Z}X$$

وكمثال توضيحي فإن نواة الالمنيوم التي عددها الذري يساوي (Z=13) وعدددها الكتلي يساوي (A=27) فانه يرمز لها بالرمز ($^{27}_{13}Al$) لاحظ الشكل (5).

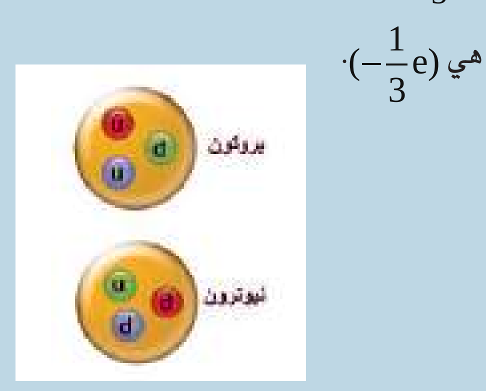
إذ إن الرمز (Al) يمثل رمز نواة الالمنيوم. وبتطبيق العلاقة (A=Z +N) فإننا نجد ان عدد نيوترونات نواة الالمنيوم (N) يساوي (14) نيوتروناً.

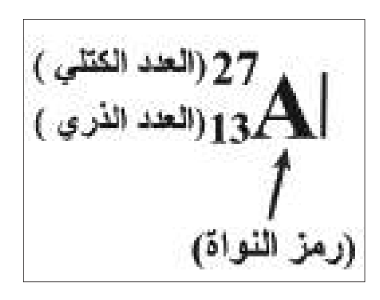
كما أنك قد تعرفت سابقاً أيضاً على المقصود بنظائر العنصر والتي هي نوى متساوية في العدد الذري وتختلف في عدد النيوترونات (او العدد الكتلي)، ومثال على ذلك فإن ($^{6}_{3}Li$, $^{7}_{3}Li$, $^{8}_{3}Li$) يمثلون ثلاثة نظائر لليثيوم، لاحظ شكل (6). فماذا عن كتلة النواة؟ تشكل كتلة النواة نحو (99.9%) من كتلة الذرة. فكيف تقاس كتل



تعلم

تعد اللبتونات (leptons) والكواركات (quarks) جسيمات اولية للمادة فالالكترون هو ليبتون والبروتونات والنيوترونات مكونة من كواركات. ومن صفات الكواركات أنها تحمل جزءاً من الشحنة (e)، وهي أيضاً تختلف فيما بينها في الكتلة. فمثلاً يحتوي البروتون على كواركي أعلى (up)، (u)، وكوارك أسفل (down)، (d). والنيوترون يحتوي على كواركي أسفل وكوارك أعلى، لاحظ الشكل. مع العلم بأن شحنة الكوارك أعلى (u)هي $(+\frac{2}{3}e)$ وشحنة الكوارك أسفل (d) هي $(-\frac{1}{3}e)$.

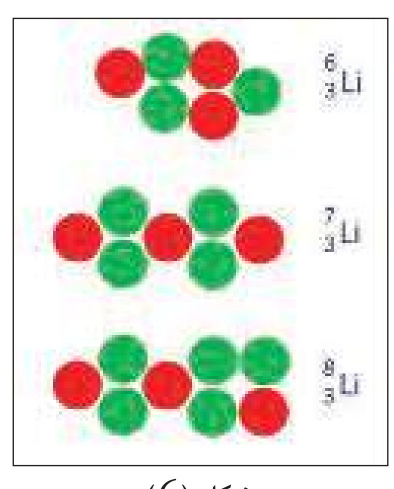




شكل (5)

نوى الذرات ؟ تقاس كتل النوى بوساطة أجهزة دقيقة ومنها مطياف الكتلة. وتقاس كتل نوى الذرات بوحدة مناسبة تسمى وحدة الكتلة الذرية (amu) أو اختصاراً (u) بدلاً من وحدة الكيلوغرام المتعارف عليها والتي لا تتلائم مع قياسات الكتل الذرية والنووية الصغيرة جداً والتي تساوي:

$$1amu = 1u = 1.66 \times 10^{-27} kg$$



شكل (6)

وبما أن النواة تحتوي (A) من النيوكليونات وان كتلة النيوكليون مقاربة الى كتلة (1u)، وبذلك فإن كتلة النواة التقريبية (m´) سوف تساوي (A×u).

وعادة ما توصف النواة بكونها ثقيلة، أو متوسطة، أو خفيفة تبعاً لكون عددها الكتلي (اوكتلتها) كبير أو متوسط أو صغير على التوالي. ومن الجدير بالذكر أننا وفي هذا الفصل وعندما نتكلم عن كتل الذرات المتعادلة والنوى والجسيمات (مثل البروتون ، النيوترون ، جسيمة الفا ... الخ) فإن المقصود بها هي الكتل السكونية.

فكر

هل تستطيع ان تميز اللون الذي يمثل البروتون واللون الذي يمثل النيوترون في شكل (6)؟

وكثيراً ما يعبر علماء الفيزياء النووية عن الكتلة بما يكافئها من طاقة، إذ يمكن ايجاد الطاقة المكافئة للكتلة وذلك باستعمال علاقة اينشتين المعروفة في تكافؤ الكتلة (m) مع الطاقة (E) وبحسب العلاقة:

$$E = mc^2$$

إذ (c) تمثل سرعة الضوء في الفراغ وتساوي $(3x10^8 m/s)$. أي إن علاقة الكتلة والطاقة هي علاقة تكافؤ، وإن الكتلة يمكن أن تتحول الى طاقة والعكس صحيح.

وعلى هذا الاساس فإن الطاقة المكافئة لكتلة مقدارها (1u) قد وجد أنها تساوي تقريباً (931MeV). ووفقاً لعلاقة الطاقة المكافئة للكتلة فأنه يمكننا كتابة العلاقة الاتية:

$$c^2 = 931(\frac{MeV}{u})$$

وبعد أن تطرقنا لموضوع كتلة النواة فكيف يمكننا ايجاد شحنة النواة؟ بما أن شحنة النيوترون تساوي صفراً، لذلك فإن شحنة النواة تساوي مجموع شحنات البروتونات الموجودة فيها. وبذلك تكون نواة أي ذرة هي ذات شحنة موجبة وأن مقدار شحنتها (q) تساوي (+Ze) حيث (Z) هو العدد الذري للنواة و(+e) هي شحنة البروتون والتي تساوي $(1.6 \times 10^{-19} C)$، أي أن:

$$q = Ze$$

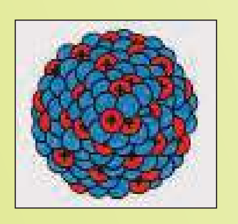
تذكر:

$$1MeV = 10^6 eV = 1.6 \times 10^{-13} J$$

مثال (1)

جد مقدار شحنة نواة الذهب ($^{198}_{79}Au$)، مع العلم ان شحنة البروتون تساوي: $(1.6\times10^{-19}C)$.

الحل



لدينا العلاقة: $q = Ze$

وبالنسبة لنواة ($^{198}_{79}Au$) فإن $(Z=79)$،

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$$\therefore q = 79\times1.6\times10^{-19}$$

$$\therefore q = 126.4\times10^{-19}C$$

وهي مقدار شحنة نواة الذهب.

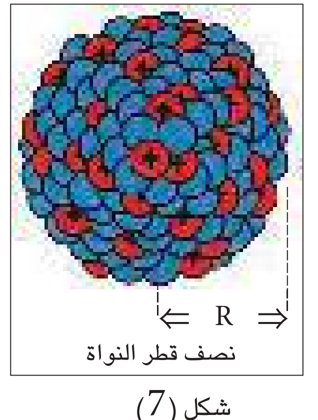
هل تعلم

على الرغم من أن النيوترون هو متعادل الشحنة (شحنته تساوي صفراً) الا انه يمتلك عزماً مغناطيسياً.

وبعد أن أوضحنا وبصورة موجزة المقصود بكتلة وشحنة النواة فماذا عن حجم النواة؟ وكيف نستطيع ان نعرف نصف قطر النواة وحجمها ؟ والجواب بأنه يمكننا ذلك بطرائق وتجارب عدة وأن أول تجربة لتقدير حجم النواة ونصف قطرها كانت قد أجريت من قبل العالم رذرفورد وذلك عن طريق استطارة جسيمات الفا من نوى ذرات الذهب، فقد توصل من هذه التجربة والعديد من التجارب الأخرى بعدها إلى ان معظم نوى الذرات هي ذوات شكل كروي تقريباً (وفي دراستنا الحالية لهذا الفصل سنعتبر أن شكل النواة هو كروي) وقد وجد أن نصف قطر النواة (R)، يتغير تغيراً طردياً مع الجذر التكعيبي للعدد الكتلي (A)، لاحظ الشكل (7).

أي إن: $(R \propto A^{\frac{1}{3}})$ ، ويعطى بحسب العلاقة:

$$R = r_o A^{\frac{1}{3}}$$



شكل (7)

إذ إن (r_o) هو مقدار ثابت يسمى ثابت نصف القطر ويساوي $(1.2\times10^{-15}m)$.

ولكون الابعاد النووية تقع في حدود (10^{-15} m) وهي أبعاد صغيرة جداً فقد وجد أنه من المناسب استعمال وحدة للطول تسمى الفيمتومتر أو الفيرمي (Fermi) ، (F)، إذ إن:

$$\text{الفيرمي} = 1Fermi = 1F = 10^{-15}\,m$$

وبذلك يمكننا كتابة العلاقة السابقة بوحدة المتر (m) وبوحدة الفيرمي (F) وعلى الشكل الآتي:

$$R = \begin{cases} 1.2\times10^{-15}A^{\frac{1}{3}} & \text{بوحدة } (m) \\ 1.2A^{\frac{1}{3}} & \text{بوحدة } (F) \end{cases}$$

مثال (2)

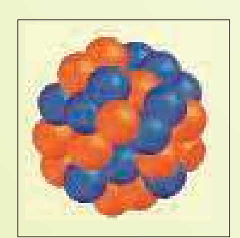
جد نصف قطر نواة النحاس $({}^{64}_{29}Cu)$ بوحدة: (a) المتر (m)، (b) الفيرمي (F).

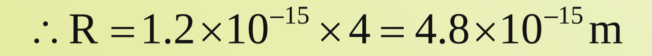
الحل

(a) لايجاد نصف القطر بوحدة المتر (m)، نطبق العلاقة الآتية:

$$R = 1.2\times10^{-15} A^{\frac{1}{3}}$$

وبالنسبة لنواة النحاس $({}^{64}_{29}Cu)$ فإن $(A = 64)$، وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:





$$R = 1.2\times10^{-15}(64)^{\frac{1}{3}} = 1.2\times10^{-15}\sqrt[3]{64}$$

$$\therefore R = 1.2\times10^{-15}\times4 = 4.8\times10^{-15}\,m$$

وهو نصف قطر النواة بوحدة (m)

(b) لايجاد نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F)، لدينا:

$$F = 10^{-15}\,m$$

$$\therefore R = 4.8\,(F)$$

وهو نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F).

[كما يمكنك ايجاد نصف قطر النواة بوحدة الفيرمي (F) وذلك باستعمال العلاقة $(R = 1.2A^{\frac{1}{3}})$، تأكد من ذلك بنفسك وقارن نتيجة حساباتك مع نتيجة الفرع (b) من هذا المثال.]

وبذلك يمكن إيجاد حجم النواة (V) بتطبيق العلاقة التالية (وذلك على اعتبار أن شكل النواة هو كروي ذات نصف قطر (R)):

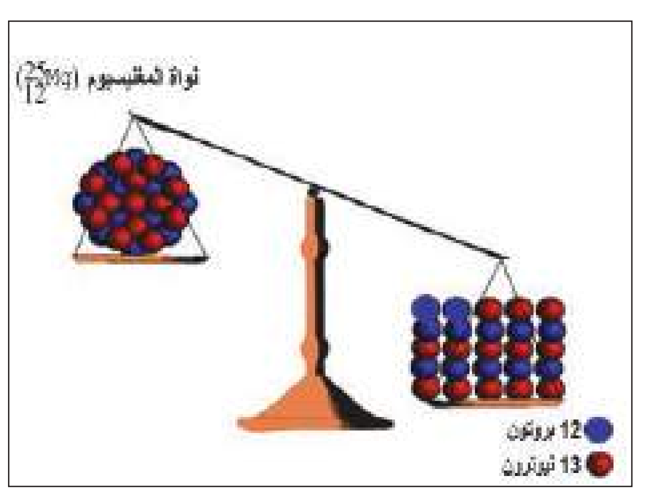
$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_o^3 A$$

ولايجاد كثافة النواة التقريبية (ρ)، نطبق العلاقة المعروفة $(\rho = \frac{m'}{V})$، اذ ان (m') تمثل كتلة النواة التقريبية $(A\times u)$. فقد وجد أن كثافة النواة التقريبية تساوي حوالي $(2.3\times10^{17}\frac{kg}{m^3})$. وبالمقارنة مع كثافة الماء التي تساوي $(10^3\frac{kg}{m^3})$ فإن كثافة النواة تساوي تقريباً (2.3×10^{14}) مرة بقدر كثافة الماء وهذه القيمة بلا شك قيمة كبيرة جداً .

3-10 طاقة الربط (الارتباط) النووية Nuclear binding energy:

نحن نعلم أن الشحنات المتشابهة تتنافر، وبما أن النواة عادة تحتوي على النيوترونات المتعادلة الشحنة وعلى البروتونات الموجبة الشحنة (ماعدا نواة ذرة الهيدروجين الاعتيادي ونظائره إذ تحتوي على بروتون واحد فقط)، فلماذا إذن لاتتنافر هذه البروتونات على الرغم من تشابهها بالشحنة؟ ومن ثم فإن هذه النتيجة سوف تؤدي إلى تفكك النواة؟ وبما ان الحال هي ليست كذلك، أي إن النوى هي موجودة فكيف إذن تحافظ النواة على تماسكها وترابطها ؟ وما هي القوة التي تربط وتمسك بنيوكليوناتها معاً ؟ والجواب على ذلك هو لابد من وجود قوة تجاذب نووية قوية تربط وتمسك بنيوكليونات النواة. وهذه القوة النووية (القوية) هي واحدة من القوى الاربعة الاساسية المعروفة في الطبيعة والتي كنت قد عرفتها سابقاً، علماً أن القوة النووية هي الاقوى في الطبيعة. ومن خواص القوة النووية هي انها قوة ذات مدى قصير وهي لاتعتمد على الشحنة.

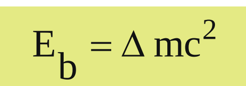
طاقة الربط النووية (E_b):



شكل (8)

شكل (9)

يقصد بطاقة الربط النووية أنها الطاقة المتحررة عند جمع أعداد مناسبة من البروتونات والنيوترونات لتشكيل نواة معينة (أو هي الطاقة اللازمة لتفكيك النواة الى مكوناتها من البروتونات والنيوترونات). أن كتلة النواة لاتساوي مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات عندما تكون منفصلة، فهي دائماً أقل من مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات عندما تكون منفصلة، لاحظ الشكل (8). هذا الفرق في الكتلة (Δm) والذي يسمى عادةً بالنقص الكتلي (mass defect) وجد أنه يكافئ طاقة الربط النووية (E_b) حسب علاقة اينشتين في تكافؤ (الكتلة – الطاقة) أي إن:



$$E_b = \Delta mc^2$$

فمثلاً ومن خلال قياس كتلة نواة الديوترون (^2_1H) والتي تتكون من بروتون واحد ونيوترون واحد،لاحظ الشكل (9). وجد أنها تساوي (2.013553u) وهي أقل من مجموع كتلة البروتون (1.007276u) وكتلة النيوترون (1.008665u) والذي يساوي (2.015941u) عندما يكونان منفصلين، وبذلك يكون الفرق أو النقص الكتلي (Δm) يساوي (0.002388u) ، إذ نستطيع ايجاد طاقة الربط النووية (E_b) وبوحدة (MeV) كما يأتي:

$$E_b = \Delta mc^2$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة، إذ إن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$ ، نحصل على:

$$E_b = 0.002388 \times 931 = 2.223 \ (MeV).$$

ومن الناحية العملية فأنه يكون أكثر مناسباً استعمال كتل الذرات بدلاً من استعمال كتل النوى، إذ يعطى النقص الكتلي (Δm) في هذه الحالة بالعلاقة:

$$\Delta m = ZM_H + Nm_n - M$$

إذ إن:

M_H: كتلة ذرة الهيدروجين

M: كتلة الذرة المعنية

Z: العدد الذري

N: العدد النيوتروني (أو عدد النيوترونات)

m_n: كتلة النيوترون

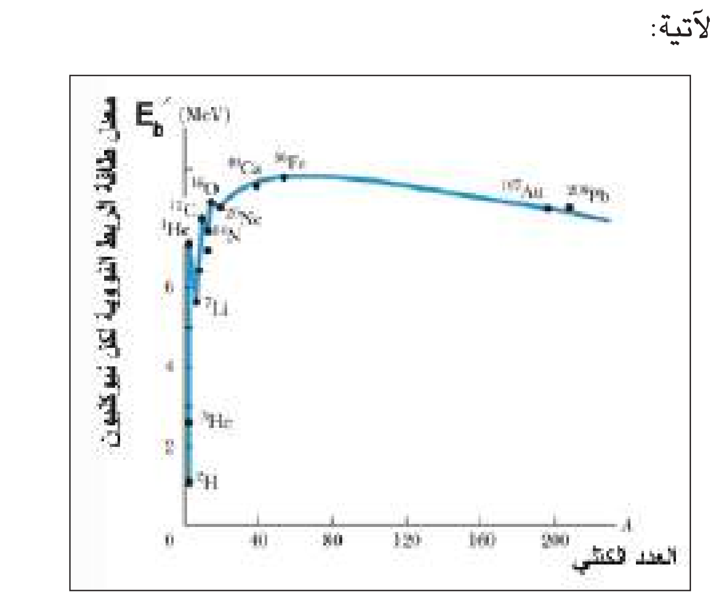
وبذلك تصبح معادلة طاقة الربط النووية للنواة، على الشكل الآتي:

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\, c^2$$

وبما أن الكتل الذرية هي عادة تقاس بوحدة (u)، فان وحدة طاقة الربط (E_b) تقاس بوحدة (MeV) اذ ان $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$.

إن حاصل قسمة طاقة الربط النووية (E_b) على العدد الكتلي (A) يسمى معدل (متوسط) طاقة الربط النووية لكل نيوكليون (أو للنيوكليون)(E'_b) ويعطى وفق العلاقة الآتية:

$$E'_b = \frac{E_b}{A}$$



شكل (10)

فكيف تتغير قيمة (E'_b) مع تغير العدد الكتلي (A) للنوى؟

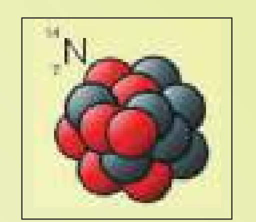
الشكل (10) يوضح تغير (E'_b) مع (A)، ويلاحظ من هذا الشكل أن المنحني يكون بصورة عامة ثابت نسبياً باستثناء النوى الخفيفة مثل نواة الديوترون $({}^{2}_{1}H)$ والنوى الثقيلة مثل نواة الرصاص $({}^{208}_{82}Pb)$. كما يمكن ملاحظة أن النوى المتوسطة

تمتلك أكبر القيم إلى (E_b')، مثل نواة الحديد ($^{56}_{26}Fe$)، وبذلك تكون النوى المتوسطة عادة هي الاكثر استقراراً. فالنوى الخفيفة والنوى الثقيلة تستطيع أن تصبح أكثر استقراراً إذا وجد تفاعلاً نووياً معيناً يستطيع أن ينقلها الى منطقة النوى المتوسطة. بعبارة اخرى اذا توافرت ظروف مناسبة فأن النوى الثقيلة اذا انشطرت الى نوى متوسطة فإنها تصبح أكثر استقراراً وبالعكس إذا إندمجت النوى الخفيفة لتكوين نوى أثقل فأنها تصبح أكثر إستقراراً أيضاً، وفي كلتا العمليتين سوف تتحرر طاقة، وستتعرف لاحقاً وبصورة أكثر تفصيلاً على تفاعلات الإنشطار والإندماج النوويين في البندين (10-6) و (10-7).

مثال (3)

جد طاقة الربط النووية لنواة النيتروجين ($^{14}_{7}N$) بوحدة (MeV). إذا علمت أن كتلة ذرة ($^{14}_{7}N$) تساوي (14.003074u) وكتلة ذرة الهيدروجين تساوي (1.007825u) وكتلة النيوترون تساوي (1.008665u).
جد أيضاً معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون.

الحل



لدينا العلاقة:

$$E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\,c^2$$

وبما أن الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن:

$$(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$$

$$\therefore E_b = (ZM_H + Nm_n - M)\times 931(MeV)$$

وبالنسبة الى نواة ($^{14}_{7}N$) فأن:

$$Z = 7,\ A = 14,\ N = A - Z = 14 - 7 = 7$$

وبتعويض هذه القيم في العلاقة السابقة نحصل على:

$$E_b = [7\times 1.007825 + 7\times 1.008665 - 14.003074]\times 931$$

$$\therefore E_b = 0.112356\times 931 = 104.603\,(MeV)$$

وهي طاقة الربط النووية.

[لاحظ ان النقص الكتلي (Δm) في هذا المثال يساوي (0.112356u)].

$$\therefore\ E_b' = \frac{E_b}{A} = \frac{104.603}{14} = 7.472\,(\frac{MeV}{nucleon})$$

وكذلك يمكننا كتابة:

$$E_b' = 7.472\,(MeV)$$

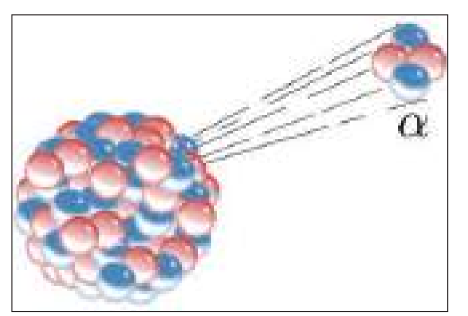
وهي معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون.

4-10 الانحلال الاشعاعي Radioactive decay

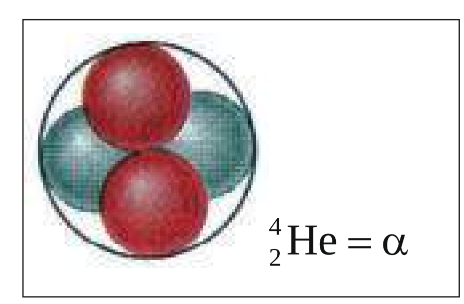
إن بعض نوى العناصر تكون غير مستقرة (مشعة) ومن ثم تسعى لكي تكون مستقرة من خلال انحلالها. وهناك ثلاثة أنواع رئيسة للانحلال الاشعاعي هي:

1-4-10 إنحلال ألفا Alpha decay

لو سألنا السؤال الآتي: متى تعاني النواة غير المستقرة إنحلال ألفا التلقائي؟، لاحظ الشكل (11-a). والجواب هو عادةً عندما تكون كتلة النواة وحجمها كبيرين نسبياً، وعلى هذا الأساس فإن إنبعاث جسيمة (دقيقة) ألفا من هذه النوى يساعدها على الحصول على استقرارية أكبر عن طريق تقليص حجمها وكتلتها. وجسيمة ألفا، وكما درست سابقاً هي نواة ذرة الهيليوم وتتكون من بروتونين ونيوترونين وتمثل بالرمز $({}^{4}_{2}He)$ أو (α)، لاحظ الشكل (11-b)، وهي ذات شحنة موجبة تساوي (+2e).



شكل (11-a)



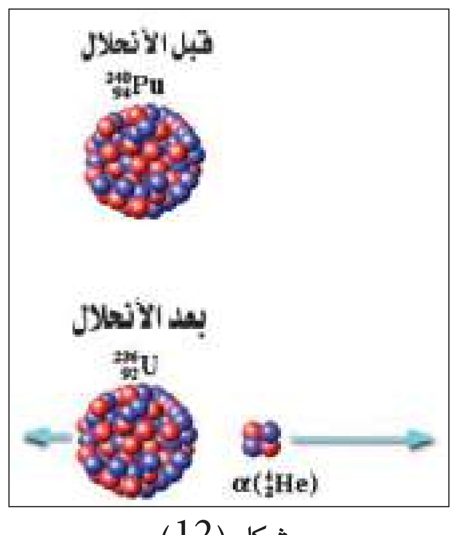
شكل (11-b)

وفي انحلال الفا(كما هو الحال في أنواع الانحلالات الاشعاعية الاخرى) عادة مايطلق على النواة الاصلية قبل الانحلال بالنواة الام والنواة الناتجة بعد الانحلال بالنواة الوليدة (او النواة البنت).

المعادلة التالية تبين معادلة نووية لنواة تعاني إنحلال ألفا:

${}^{240}_{94}Pu$	$\rightarrow$	${}^{236}_{92}U$	$+$	${}^{4}_{2}He$
(النواة الأم)		(النواة الوليدة)		(جسيمة الفا)
(نواة البلوتونيوم)		(نواة اليورانيوم)		

لاحظ الشكل (12).



شكل (12)

ولو سألنا السؤال الآتي: ما الذي يفعله انحلال الفا في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الأم؟ والجواب ينقص العدد الكتلي بمقدار أربعة وينقص العدد الذري بمقدار اثنين (لاحظ المعادلة النووية السابقة)، لاحظ ايضا عند تغير العدد الذري فأن نواة العنصر تتحول الى نواة عنصر اخر، وهذه الحال تصح على جميع أنواع الانحلالات والتفاعلات النووية الأخرى باستثناء انحلال كاما، فكيف يمكننا ايجاد طاقة الانحلال لنواة تنحل بوساطة انحلال الفا؟

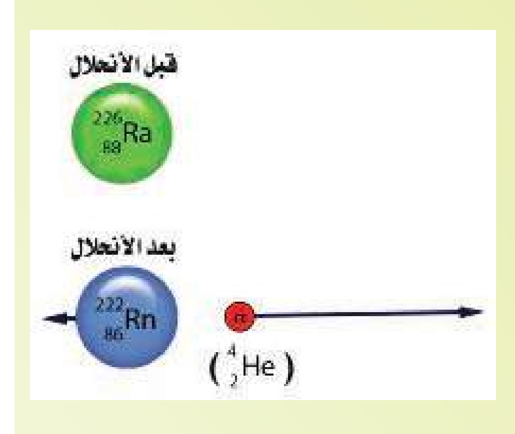
إذا أفترضنا بان كتلة النواة الأم هي (M_p) (عادة ساكنة ابتدائياً) وكتلة النواة الوليدة هي (M_d) وكتلة جسيمة الفا هي (M_α)، فان طاقة انحلال الفا (Q_α) تعطى وفق العلاقة التالية:

$$Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]c^2$$

وعندما تقاس الكتل الذرية بوحدة (u) إذ إن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$، فإن وحدة (Q_α) في هذه الحال هي (MeV).
أن الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائيا بوساطة انحلال الفا هو أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة، أي إن $(Q_\alpha > 0)$. ومن الجدير بالذكر أن جسيمة الفا (ذات الكتلة الأقل مقارنة بكتلة النواة الوليدة) سوف تمتلك سرعة وطاقة حركية أكبر من السرعة والطاقة الحركية للنواة الوليدة وذلك بحسب قانون حفظ (الطاقة–الكتلة) وقانون حفظ الزخم الخطي.

مثال (4)

برهن على أن نواة الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة الرادون ($^{222}_{86}Rn$) بوساطة انحلال الفا. اكتب ايضاً المعادلة النووية للانحلال، مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:



$$^{226}_{88}Ra = 226.025406\,(u),$$
$$^{222}_{86}Rn = 222.017574\,(u),$$
$$^{4}_{2}He = 4.002603\,(u).$$

الحل

المعادلة النووية للانحلال هي :

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow \ ^{222}_{86}Rn + \ ^{4}_{2}He$$

(النواة الأم) (النواة الوليدة) (جسيمة الفا)

أن شرط الانحلال التلقائي هو أن تكون قيمة طاقة الانحلال (Q_α) موجبة.

لدينا العلاقة:

$$Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha]\,c^2$$

وبما أن الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن $c^2 = 931\frac{MeV}{u}$

$$\therefore Q_\alpha = [M_p - M_d - M_\alpha] \times 931\,(MeV)$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$Q_\alpha = [226.025406 - 222.017574 - 4.002603] \times 931$$

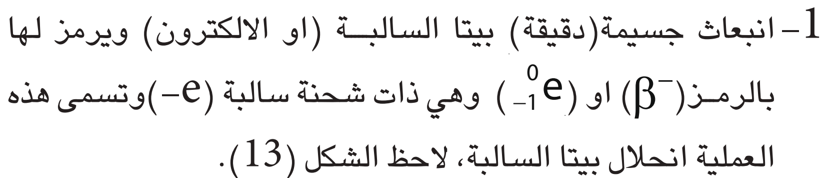
$$\therefore Q_\alpha = 5.229 \times 10^{-3} \times 931 = 4.868\ (MeV)$$

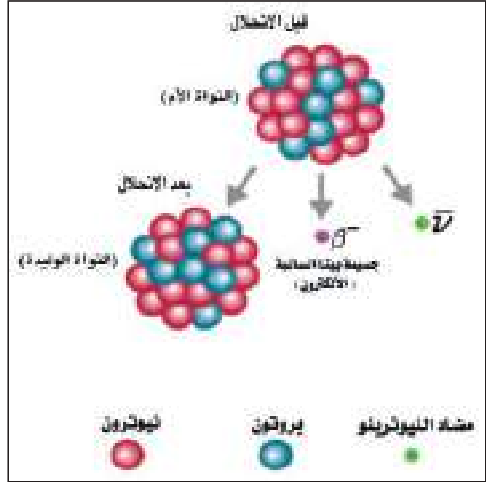
بما أن قيمة (Q_α) هي قيمة موجبة، أي إن $(Q_\alpha > 0)$ ، $\therefore$ قد تحقق شرط الانحلال التلقائي.

(2-4-10) انحلال بيتا Beta decay

وهو الانحلال الاشعاعي التلقائي الثاني والذي من خلاله تستطيع بعض النوى الوصول الى حالة اكثر استقراراً. وتوجد ثلاث طرائق تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا وهي:

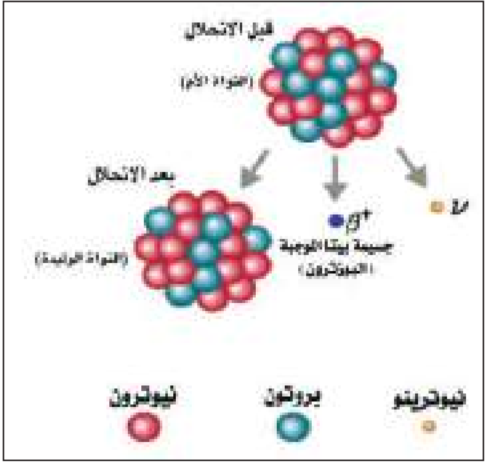
1- انبعاث جسيمة(دقيقة) بيتا السالبة (او الالكترون) ويرمز لها بالرمز(β^-) او (${}^{\;0}_{-1}e$) وهي ذات شحنة سالبة ($-e$)وتسمى هذه العملية انحلال بيتا السالبة، لاحظ الشكل (13).





شكل (13)

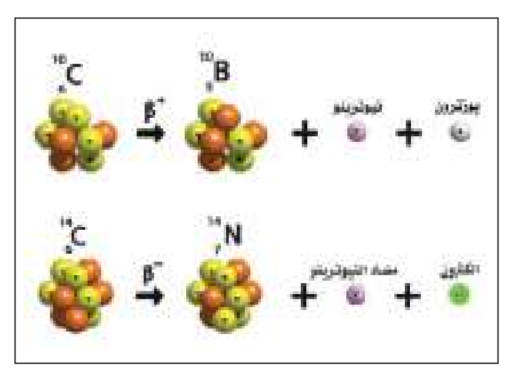
2- انبعاث جسيمة (دقيقة) بيتا الموجبة (او البوزترون) ويرمز لها بالرمز(β^+) او (${}^{\;0}_{+1}e$) وهي ذات شحنة موجبة ($+e$) وتسمى هذه العملية انحلال بيتا الموجبة، لاحظ الشكل (14). والبوزترون عبارة عن جسيم يمتلك جميع صفات الالكترون الا ان اشارة شحنته هي موجبة، كما يطلق عليه ايضاً (مضاد الالكترون).



شكل (14)

3- أسر (اقتناص) النواة لاحد الالكترونات الذرية المدارية الداخلية، وتسمى هذه عملية الأسر الالكتروني.

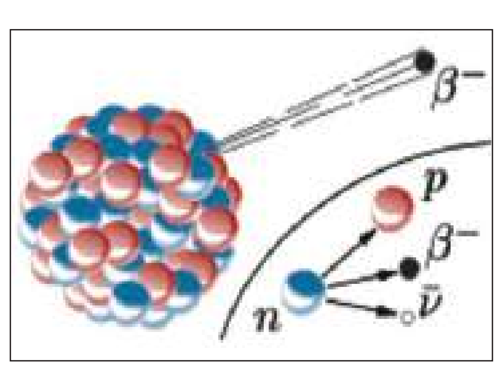
ويرافق انحلال بيتا الموجبة انبعاث جسيم يسمى النيوترينو (شحنته وكتلته السكونية تساوي صفراً) ويرمز له بالرمز (ν)او ($^0_0\nu$)، إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي له يساويان صفراً. كما يرافق انحلال بيتا السالبة انبعاث جسيم يسمى مضاد النيوترينو ويرمز له بالرمز ($\bar{\nu}$) او($^0_0\bar{\nu}$)، إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي له يساويان صفراً أيضاً، (لاحظ مثلاً معادلتي الانحلال النووي المجاورتين).



وهنا يبرز السؤال الآتي: بما أن النواة أساساً لا تحتوي على الألكترونات أو البوزترونات فكيف يمكن للنواة أن تبعث الكتروناً او بوزتروناً؟ فمن اين أتى هذا الالكترون او هذا البوزترون؟ والجواب على ذلك هو عندما تبعث النواة الالكترون فهو نتاج انحلال أحد نيوترونات النواة الى بروتون والكترون ومضاد النيوترينو، لاحظ الشكل (15).

ويعبر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية:

$${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + \beta^- + {}^0_0\bar{\nu}\ ,\ (\beta^- = {}^{\;0}_{-1}e)$$



شكل (15)

ويحدث هذا الانحلال بسبب ان نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أكبر من النسبة اللازمة لاستقرارها.

أما عندما تبعث النواة البوزترون فهو نتاج انحلال أحد بروتونات النواة إلى نيوترون وبوزترون ونيوترينو ويعبر عن هذا الانحلال بالمعادلة النووية الآتية:

$$ {}_{1}^{1}p \rightarrow {}_{0}^{1}n + \beta^{+} + {}_{0}^{0}\nu \ , \ (\beta^{+} = {}_{+1}^{0}e) $$

ويحدث هذا الانحلال بسبب أن نسبة عدد نيوترونات الى عدد بروتونات النواة هي أصغر من النسبة اللازمة لاستقرارها. وفيما يلي نورد ثلاث امثلة لمعادلات نووية لنوى تنحل تلقائياً بوساطة انحلال بيتا:

$$ {}_{29}^{64}\mathrm{Cu} \rightarrow {}_{30}^{64}\mathrm{Zn} + \beta^{-} + \bar{\nu} $$ (انحلال بيتا السالبة)

$$ {}_{7}^{13}\mathrm{N} \rightarrow {}_{6}^{13}\mathrm{C} + \beta^{+} + \nu $$ (انحلال بيتا الموجبة)

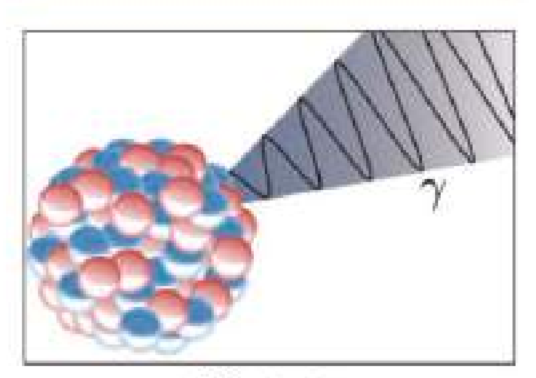
$$ {}_{20}^{41}\mathrm{Ca} + {}_{-1}^{0}\mathrm{e} \rightarrow {}_{19}^{41}\mathrm{K} + \nu $$ (الأسـر الالكترونـي)

فكر

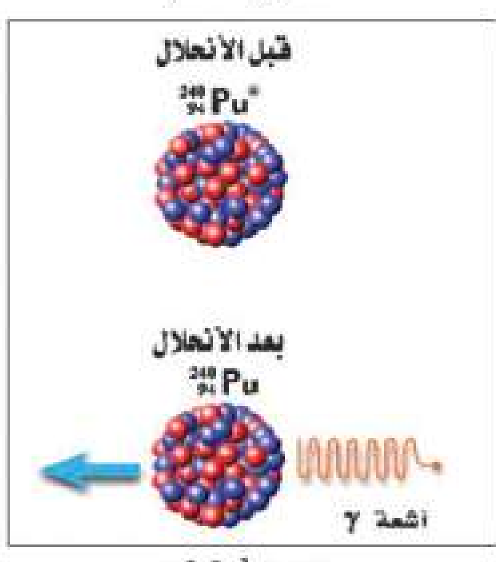
من ملاحظة امثلة المعادلات النووية الثلاثة المجاورة لنوى تنحل تلقائياً بوساطة انحلال بيتا، هل تستطيع ان تعرف ما الذي يفعله انحلال كل من بيتا السالبة وبيتا الموجبة والأسر الالكتروني في قيم العدد الكتلي والعدد الذري للنواة الام؟

(3-4-10) انحلال كاما Gamma decay

غالبا ماتترك بعض النوى في حالة (او مستو) اثارة اي لديها طاقة فائضة وذلك بعد معاناتها انحلال الفا أو انحلال بيتا، فكيف يمكن لمثل هذه النوى تلقائيا أن تصل إلى حال أكثر استقرارا ؟ والجواب على ذلك بأنه يمكن لمثل هذه النوى أن تتخلص من الطاقة الفائضة بانحلال كاما (وهو الانحلال الاشعاعي التلقائي الثالث) والوصول الى حالة اكثر استقرارا وذلك بأنبعاث اشعة كاما، لاحظ الشكل (16-a). فلو أن النواة انتقلت من مستوى طاقة عال الى مستوى طاقة منخفض فان اشعة كاما (فوتون) سوف ينبعث وتكون طاقة الفوتون تساوي فرق الطاقة بين المستويين. وأشعة كاما، هي أشعة كهرومغناطيسية (فوتونات) ذات طاقة عالية أو تردد عالٍ، كتلتها السكونية وشحنتها تساوي صفراً وعادة يرمز لها بالرمز (γ) او (${}_{0}^{0}\gamma$)، إذ إن العدد الذري والعدد الكتلي لها يساويان صفراً.



شكل (16-a)



شكل (16-b)

المعادلة التالية تبين معادلة نووية لنواة تعاني انحلال كاما:

${}_{94}^{240}\mathrm{Pu}^{*}$	$\rightarrow$	${}_{94}^{240}\mathrm{Pu}$	+	${}_{0}^{0}\gamma$
(النواة الأم) (نواة البلوتونيوم المتهيجة)		(النواة الوليدة) (نواة البلوتونيوم)		(اشعة كاما)

(إشارة النجمة (*) تبين أن النواة هي في حالة إثارة أو تهيج)، لاحظ الشكل (16-b).

وكما هو واضح من معادلة الانحلال النووي لنواة البلوتونيوم المتهيجة $({}^{240}_{94}Pu^{*})$ السابقة فإن العدد الكتلي والعدد الذري يبقى ثابتاً في انحلال كاما. ويمكن التعبير عن علاقة طاقة أشعة كاما أو طاقة الفوتون (E) بالتردد (f) كما يأتي:

$$E = hf$$

إذ إن: (h) هو ثابت بلا نك ويساوي $(6.63\times10^{-34}\ J.s)$

وأن $f = \frac{c}{\lambda}$ ، حيث (λ) هي طول موجة الفوتون و(c) هي سرعة الضوء في الفراغ.

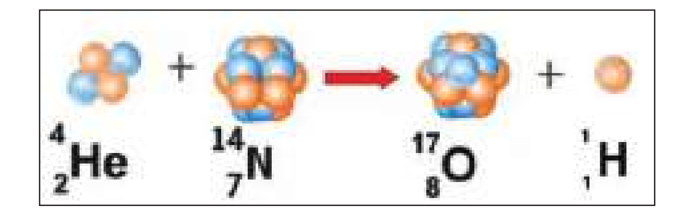
5-10 التفاعلات النووية Nuclear reactions

لاحظنا سابقاً أن تركيب النواة يتغير وذلك عندما تعاني النواة انحلالاً اشعاعياً تلقائياً بوساطة انحلال الفا أو انحلال بيتا وبحسب المعادلات النووية السابقة. ولعلك تسأل هل يمكننا ان نغير من تركيب النواة عند قذفها بجسيمات نووية ذات طاقة معينة؟ والجواب نعم يمكننا ذلك، إذ إن أول من برهن على حدوث هذا التفاعل النووي المحتث (الاصطناعي) هو العالم رذرفورد، لاحظ الشكل (17)، وبحسب معادلة التفاعل النووي الآتية:

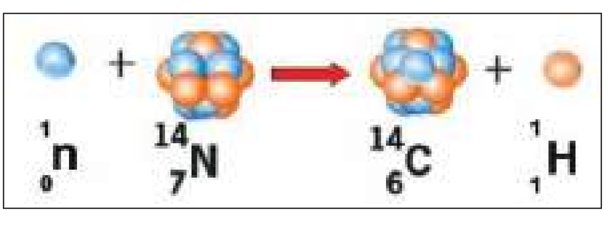
$$^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

(جسيم الفا) (نواة النيتروجين) (نواة الاوكسجين) (بروتون)

وفي حال المعادلات النووية فإنه يجب أن يكون مجموع الاعداد الذرية ومجموع الاعداد الكتلية متساويين في طرفي المعادلة النووية، أي إن المعادلة النووية يجب أن تكون موزونة، وكما هو مبين مثلاً في معادلة التفاعل النووي السابقة. وهكذا نجد أن التفاعل النووي هو ذلك التفاعل الذي يحدث تغيراً في خصائص وتركيب النواة الهدف. فمثلاً عند قذف (قصف) نواة النيتروجين $({}^{14}_{7}N)$ بوساطة جسيم النيوترون $({}^{1}_{0}n)$ فإنه يمكن الحصول على نواة الكاربون $({}^{14}_{6}C)$ وجسيم البروتون $({}^{1}_{1}H)$ ، لاحظ الشكل (18).



شكل (17)



شكل (18)

ومن الجدير بالذكر أن التفاعلات النووية يجب أن تتحقق فيها قوانين الحفظ وهي:

a- قانون حفظ (الطاقة - الكتلة).

b- قانون حفظ الزخم الخطي.

c- قانون حفظ الزخم الزاوي.

d- قانون حفظ الشحنة الكهربائية (أو قانون حفظ العدد الذري).

e- قانون حفظ عدد النيوكليونات (أو قانون حفظ العدد الكتلي).

طاقة التفاعل النووي:

يمكن ايجاد قيمة طاقة التفاعل النووي (Q) بصورة عامة على النحو الآتي: لو نفترض أن تفاعلاً نووياً تقذف فيه نواة الهدف (X) (عادة ساكنة ابتدائياً) والتي كتلتها (M_x) بالجسيم الساقط (المقذوف)(a) والذي كتلته (M_a) لينتج نواة (Y) والتي كتلتها (M_Y) والجسيم (b) الذي كتلته (M_b)، عندها يمكننا التعبير عن هذا التفاعل النووي بالمعادلة النووية الآتية:

$$a + X \rightarrow Y + b$$

إن قيمة طاقة التفاعل النووي (Q) يمكن ايجادها من العلاقة:

$$Q = [(M_a + M_x) - (M_Y + M_b)]c^2$$

أو

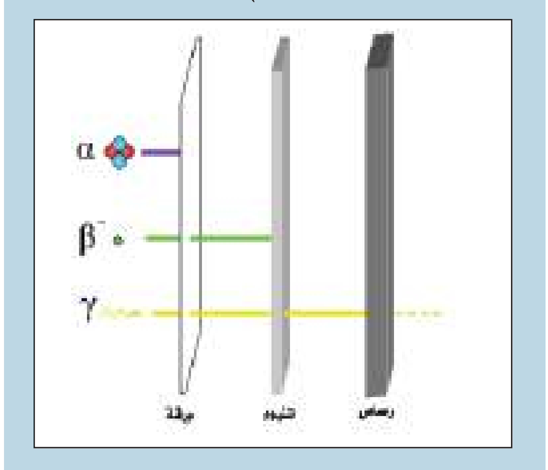
$$Q = [M_a + M_x - M_Y - M_b]c^2$$

وعندما تقاس الكتل الذرية بوحدة (u) فأن $(C^2 = 931\frac{MeV}{u})$ وتكون وحدة (Q) هي (MeV). فعلى سبيل المثال إذا كانت قيمة (Q) موجبة، $(Q > 0)$، فإن التفاعل النووي يسمى بالتفاعل المحرر للطاقة.

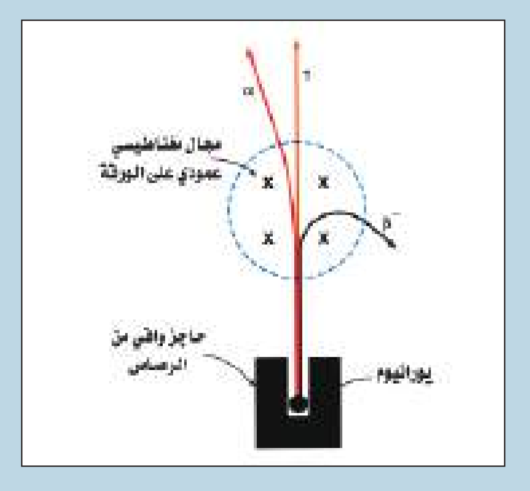
أما إذا كانت قيمة (Q) سالبة، $(Q < 0)$، فان التفاعل النووي يسمى في هذه الحالة بالتفاعل الماص للطاقة.

تذكر:

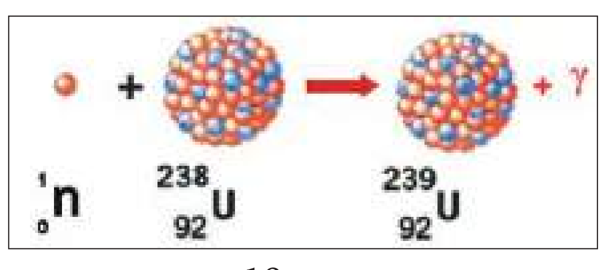
أن جسيمات الفا لها القدرة الأكبر على تأين المواد تليها جسيمات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي أشعة كاما. أما من ناحية اختراق المواد فإن أشعة كاما لها القدرة الأكبر على اختراق المواد تليها جسيمات بيتا السالبة والأقل منهما قدرة هي جسيمات ألفا (فهي عادة لا تخترق الملابس وجلد الإنسان).



وتنحرف جسيمات الفا بتأثير المجال الكهربائي أو المجال المغناطيسي باتجاه يدل على أنها موجبة الشحنة وتنحرف جسيمات بيتا السالبة باتجاه يدل على انها سالبة الشحنة. ولاتنحرف أشعة كاما بتأثير المجال الكهربائي أو المجال المغناطيسي.



ومن الجدير بالذكر أن النيوترونات تُعد قذائف مهمة في التفاعلات النووية لاحظ الشكل (19)، وذلك لان شحنة النيوترون تساوي صفراً وهو بذلك يستطيع ان يدخل الى النواة بسهولة جداً (أكثر بكثير من جسيمات الفا أو البروتونات مثلاً) وذلك لعدم وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية بينه وبين النواة.



شكل (19)

مثال (5)

في التفاعل النووي الآتي:

$$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

جد قيمة طاقة التفاعل النووي بوحدة (MeV)، ثم بين نوعية التفاعل. مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{14}_{7}N = 14.003074(u) \quad , \quad ^{4}_{2}He = 4.002603(u)$$

$$^{17}_{8}O = 16.999132(u) \quad , \quad ^{1}_{1}H = 1.007825(u)$$

الحل

من معادلة التفاعل النووي:

$^{4}_{2}He$	+	$^{14}_{7}N$	$\rightarrow$	$^{17}_{8}O$	+	$^{1}_{1}H$
(الجسيم المقذوف او الساقط)		(النواة الهدف)		(النواة الناتجة)		(الجسيم الناتج)
(a)		(X)		(Y)		(b)
(جسيمة الفا)		(نواة النيتروجين)		(نواة الاوكسجين)		(جسيم البروتون)

إن طاقة التفاعل النووي (Q) يمكن ايجادها من العلاقة:

$$Q = [M_a + M_X - M_Y - M_b]c^2$$

وبما ان الكتل هي معطاة بوحدة (u)، فأن $(c^2 = 931\frac{MeV}{u})$

$$\therefore Q = [M_a + M_x - M_Y - M_b] \times 931(MeV)$$

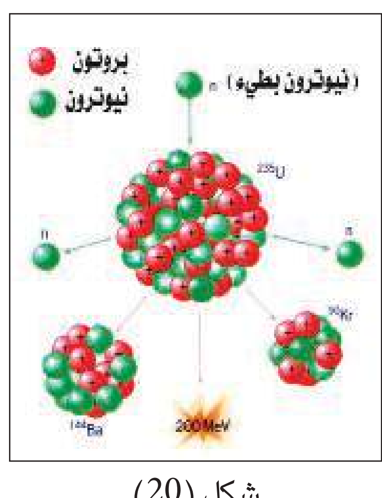
ومن ملاحظة معادلة التفاعل النووي وعند التعويض في المعادلة السابقة نحصل على:

$$Q = (4.002603 + 14.003074 - 16.999132 - 1.007825) \times 931 \ (MeV)$$

$$\therefore Q = (-0.001280) \times 931 \quad = -1.192 \quad (MeV)$$

بما أن قيمة (Q) هي سالبة (Q < 0)، ∴ التفاعل هو من النوع الماص للطاقة.

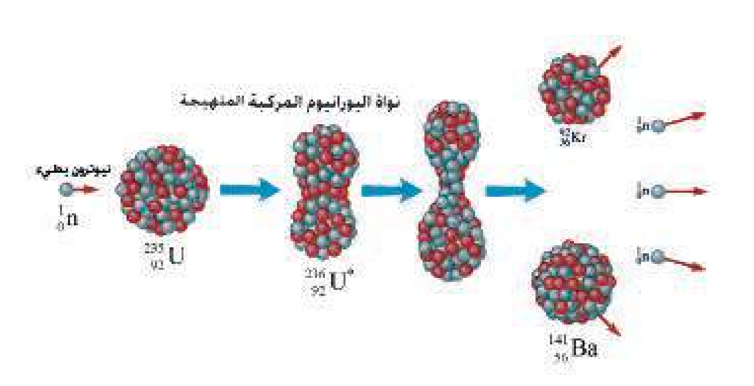
6-10 الانشطار النووي Nuclear fission



شكل (20)

كثيراً ما نسمع عن الطاقة الهائلة والمتحررة من عملية الانشطار النووي واستعمالاتها السلمية وغير السلمية، فماذا يقصد بالانشطار النووي؟ الانشطار النووي هو تفاعل نووي تقسم فيه نواة ثقيلة (مثل نواة اليورانيوم $^{235}_{92}U$) الى نواتين متوسطتين بالكتلة وذلك عن طريق قصف هذه النواة الثقيلة بوساطة نيوترون بطيء (نيوترون حراري)، وهو نيوترون ذو طاقة صغيرة حوالي (0.025eV)، لاحظ الشكل (20).

وعادة ماتتكون نتيجة الانشطار النووي نوى جديدة مشعة وعدد من النيوترونات (نموذجياً اثنان أو ثلاثة) فضلاً عن الطاقة الهائلة. ولعلك تسأل من أين تأتي هذه الطاقة الهائلة؟ والجواب تأتي هذه الطاقة الهائلة من حقيقة كون ان مجموع الكتل الناتجة هي أقل من مجموع الكتل المتفاعلة إذ تتحول الكتلة المفقودة الى طاقة هائلة على وفق علاقة انيشتاين في تكافؤ (الكتلة – الطاقة). فمثلاً تتحرر طاقة تقدر بنحو (200MeV) عند انشطار نواة واحدة فقط من اليورانيوم ($^{235}_{92}U$). ولذلك فإن الطاقة المتحررة من الانشطار النووي هي مثلاً أكبر بكثير من الطاقة المتحررة من التفاعلات الكيميائية. ومن أحد الأمثلة المحتملة على تفاعلات انشطار نواة اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) بوساطة نيوترون بطيء هو التفاعل التالي، لاحظ الشكل (21):



شكل (21) (للاطلاع)

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n$$

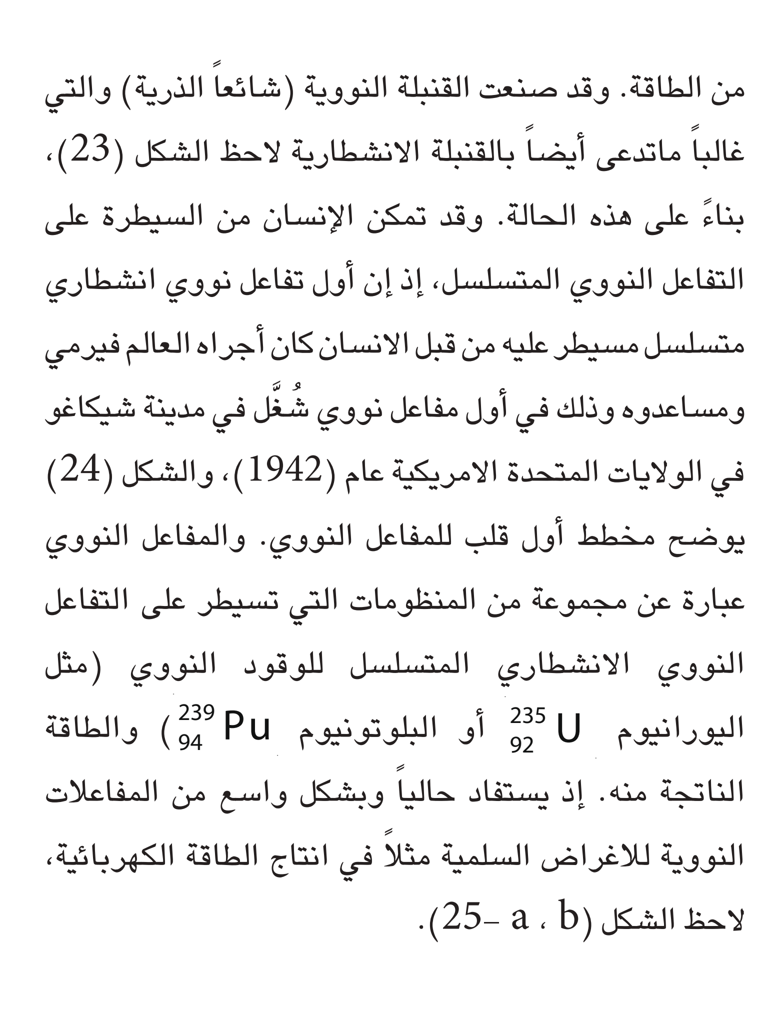
ويمثل الرمز ($^{236}_{92}U^{*}$) نواة اليورانيوم المركبة المتهيجة.

شكل (22) (للاطلاع)

التفاعل النووي المتسلسل:

نسمي التفاعل النووي الذي يجعل عملية انشطار نوى اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) وغيرها من النوى القابلة للانشطار ان تستمر بالتفاعل النووي المتسلسل، لاحظ الشكل (22).

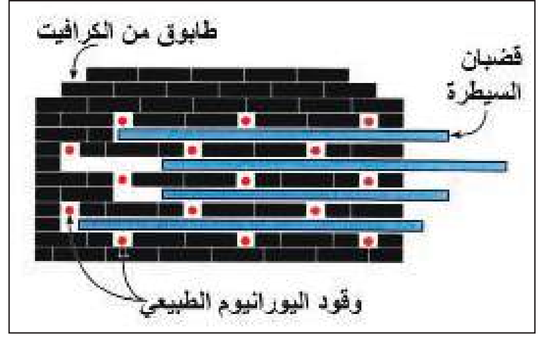
وإذا لم يسيطر على التفاعل النووي المتسلسل فإن ذلك سوف يؤدي الى انفجار عنيف مدمر مع انبعاث كمية هائلة



من الطاقة. وقد صنعت القنبلة النووية (شائعاً الذرية) والتي غالباً ماتدعى أيضاً بالقنبلة الانشطارية لاحظ الشكل (23)، بناءً على هذه الحالة. وقد تمكن الإنسان من السيطرة على التفاعل النووي المتسلسل، إذ إن أول تفاعل نووي انشطاري متسلسل مسيطر عليه من قبل الانسان كان أجراه العالم فيرمي ومساعدوه وذلك في أول مفاعل نووي شُغِّل في مدينة شيكاغو في الولايات المتحدة الامريكية عام (1942)، والشكل (24) يوضح مخطط أول قلب للمفاعل النووي. والمفاعل النووي عبارة عن مجموعة من المنظومات التي تسيطر على التفاعل النووي الانشطاري المتسلسل للوقود النووي (مثل اليورانيوم ${}^{235}_{92}U$ أو البلوتونيوم ${}^{239}_{94}Pu$) والطاقة الناتجة منه. إذ يستفاد حالياً وبشكل واسع من المفاعلات النووية للاغراض السلمية مثلاً في انتاج الطاقة الكهربائية، لاحظ الشكل (25- a ، b).



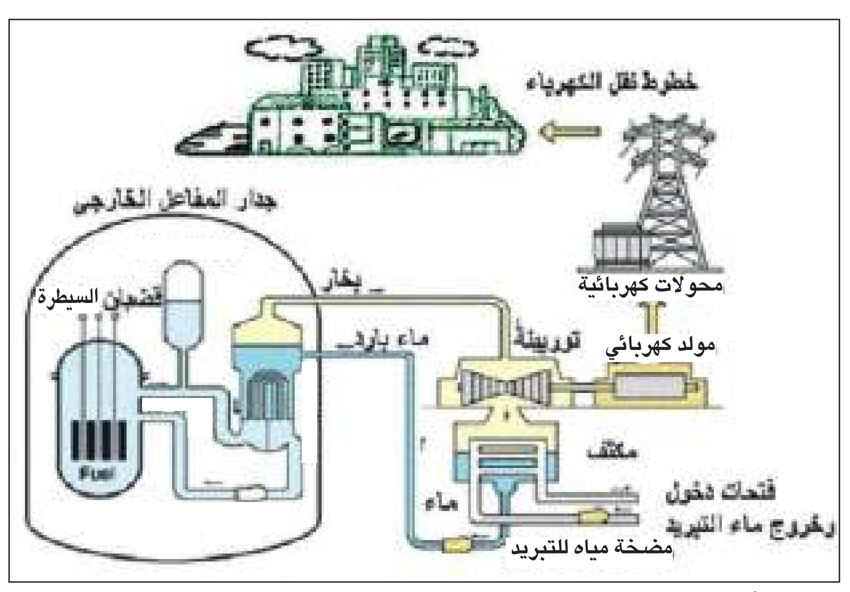
شكل (23)



شكل (24)



شكل (25-a)

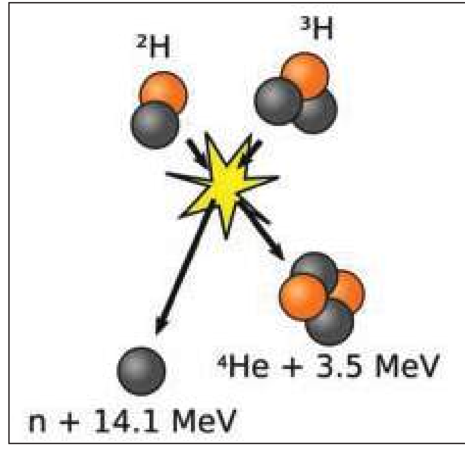


شكل (25-b) مكونات احدى المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية (للاطلاع)

هل تساءلت يوماً عزيزي الطالب من اين لشمسنا كل هذه الطاقة الهائلة والتي تغمر بها الارض وما عليها من أحياء حيث تمدنا بالضوء والحرارة التي نحتاجها ؟ والحقيقة أن هذه الطاقة الهائلة ناتجة من تفاعل نووي يسمى الاندماج النووي والذي ستتعرف عليه كما في الآتي:

الاندماج النووي:

هو تفاعل نووي تدمج فيه نواتان صغيرتان (خفيفتان بالكتلة) لتكوين نواة أثقل لاحظ الشكل (26). وتكون كتلة النواة الاثقل هي أقل من مجموع كتلتي النواتين الخفيفتين الأصليتين، وفرق الكتلة يتحول الى طاقة متحررة وذلك على وفق علاقة اينشتاين في تكافؤ (الكتلة–الطاقة). وعلى هذا الاساس تعد الشمس مفاعل نووي اندماجي حراري عملاق لانتاج الطاقة. فماهي العمليات والتفاعلات النووية الرئيسة لانتاج هذه الطاقة الهائلة في الشمس؟ تعد سلسلة عمليات أو تفاعلات اندماج نوى ذرات الهيدروجين الاعتيادي (البروتونات) لتوليد نواة ذرة الهيليوم ($^{4}_{2}He$) هي العمليات الرئيسة التي تحدث في باطن الشمس (حيث درجة الحرارة حوالي $1.5 \times 10^{7}\,K$) وذلك ضمن سلسلة أو دورة تسمى دورة (بروتون–بروتون). ويحرر الاندماج النووي طاقة أكبر من الطاقة التي يحررها الانشطار النووي لكتل متساوية من الوقود النووي. إن هذه الحقيقة قد طبقت عسكرياً عند انتاج القنبلة الاندماجية والتي تسمى أيضاً بالقنبلة الهيدروجينية، لاحظ الشكل (27). وهي أعظم خطراً وأشد فتكاً من القنبلة النووية (الانشطارية) ويمثل هذا النوع من القنابل الاندماجية مثالاً على التفاعلات النووية الاندماجية غير المسيطر عليها. ولكن ماذا يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه؟ وهل يمكن تحقيقه عملياً (مثلاً في المختبرات العلمية)؟ غالباً ما يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه بمصدر الطاقة الذي قد لاينضب لان مصدر الوقود النووي المستعمل (الهيدروجين) هو متاح وميسر وهو الماء المتوفر بكثرة في الكرة الارضية. هذا فضلاً عن أن الاندماج النووي يُعد مصدراً للطاقة النظيفة نوعاً ما، إذ إن الهيليوم مثلاً هو ناتج غير مشع أي بعكس النواتج المشعة والتي تحدث عادة

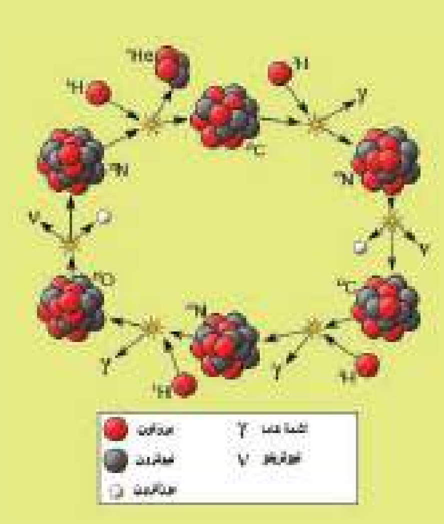


شكل (26)

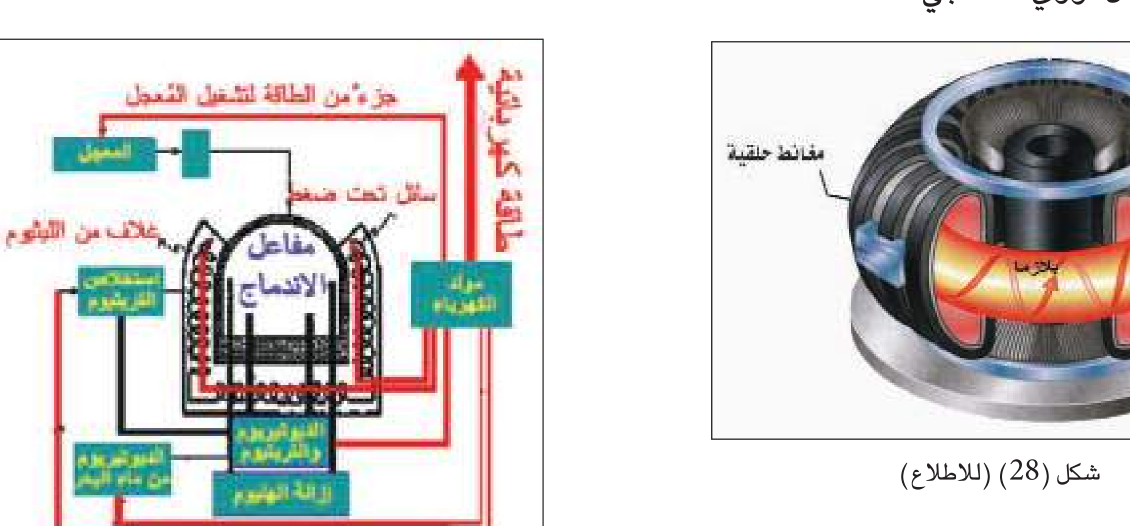

شكل (27)

هل تعلم

توجد هناك دورة اندماج نووي أخرى تسمى دورة الكاربون وهي تحدث في النجوم التي درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة باطن الشمس.



في عملية الانشطار النووي. وتوجد هناك صعوبات كثيرة لتحقيق عملية الاندماج النووي إذ إن العائق الرئيس للحصول على طاقة مفيدة من الاندماج النووي هو وجود قوة كولوم الكهربائية التنافرية الكبيرة بين البروتونات والنوى المتفاعلة عندما تكون المسافة بينهم قصيرة. ولأجل إعطاء البروتونات والنوى المتفاعلة طاقة كافية للتغلب على قوة كولوم الكهربائية التنافرية فإنه يتطلب رفع درجة حرارة التفاعل النووي إلى درجة حرارة مرتفعة جداً (حوالي 10^8K) حيث يصبح الوسط المعول عليه في مثل هذه الدرجات الحرارية العالية هو ما يسمى بالبلازما (الحالة الرابعة للمادة). ولكن لاتوجد مادة معروفة في الوقت الحاضر لها القدرة على تحمل مثل هذه الحرارة العالية جداً. ونظراً للصعوبة التقنية فانه وفي الوقت الحاضر لاتوجد استفادة حقيقية وعلى نطاق واسع من التفاعل النووي الاندماجي للاغراض السلمية. ويسعى العلماء والباحثون حالياً الى ابتكار طرق جديدة لاحتواء البلازما المتفاعلة واللازمة للاندماج النووي مثل استعمال المجال المغناطيسي لحصر البلازما داخل حاوية ولكن بعيداً عن جدرانها (مثل جهاز التوكاماك Tokamak)، لاحظ الشكل (28). ولو أمكن التوصل الى تفاعل نووي اندماجي مسيطر عليه لأصبحت المفاعلات النووية الاندماجية من أهم مفاعلات المستقبل. ويبين الشكل (29) أحد التصاميم المقترحة لمفاعل نووي اندماجي.



شكل (28) (للاطلاع)

شكل (29) احد التصاميم المقترحة لمفاعل نووي اندماجي (للاطلاع).

8-10
مخاطر وفوائد الاشعاع النووي
Hazards and beneficials of nuclear radiation

قد تتعجب عزيزي الطالب إذا علمت أننا جميعاً نتعرض إلى الأشعاعات النووية في كل لحظة من حياتنا، ولكن من أين تأتي هذه الأشعاعات النووية التي نتعرض لها؟ والجواب المنطقي لهذا السؤال هو بالتأكيد من البيئة التي نعيش فيها، إذ تقسم مصادر الاشعاع النووي بصورة عامة على مصدرين رئيسين:

1– مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي: وتشتمل على الأشعة الكونية، والاشعاع النووي من القشرة الارضية، وكذلك النشاط الاشعاعي في جسم الانسان.



شكل (30)

2- مصادر الأشعاع النووي الاصطناعي: ومنها المصادر النووية المشعة المستعملة في الطب لغرض التشخيص والعلاج، لاحظ الشكل (30)، النفايات النووية المشعة ، الغبار النووي المتساقط من اختبارات الاسلحة النووية، الاشعاعات النووية المنتجة من المفاعلات النووية، واستعمال المصادر النووية المشعة في البحوث والدراسات.

فما تأثير ومخاطر الاشعاع النووي على جسم الانسان ؟

تعتمد درجة ونوع الضرر الذي يسببه الاشعاع النووي على عدة عوامل منها نوع الاشعاع (كاشعة كاما اوجسيمات الفا ...الخ) وطاقة هذا الاشعاع، والعضو المعرض لهذا الاشعاع (كبد او عظم او عين ....الخ).

إذ ينتج التلف الاشعاعي في جسم الانسان في المقام الاول من تأثير التأين في خلايا الجسم المختلفة. ويؤدي الضرر في خلايا الجسم الاعتيادية الى تأثيرات مبكرة مثل التهاب الجلد أو تأثيرات متأخرة مثل مرض السرطان (تأثيرات جسدية). أما الأضرار التي تحدث في الخلايا التناسلية فيمكن أن تؤدي الى حدوث ولادات مشوهة ويمكن أن ينتقل الضرر إلى الأجيال اللاحقة (تأثيرات وراثية).

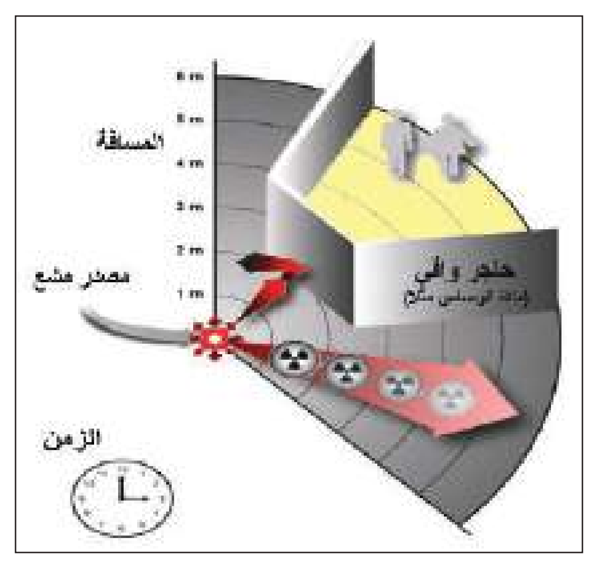
فما الاجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الاشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن ان نتعرض له اضطرارياً؟

والجواب هو في حالة التعرض للاشعاع النووي اضطرارياً فإنه يجب إبقاء التعرض الى أقل مايمكن، ويمكننا تحقيق ذلك من خلال:

a- تقليل زمن التعرض للاشعاع النووي الى اقل مايمكن.

b- الابتعاد عن مصدر الاشعاع النووي أكثر مايمكن.

c- استعمال الحواجز الواقية والملائمة (درع shield) بين الانسان ومصدر الاشعاع النووي (استعمال مادة الرصاص مثلاً)، لاحظ الشكل (31).



شكل (31)

فهل توجد تطبيقات واستعمالات مفيدة وسلمية للاشعاع النووي والطاقة النووية؟

بالتأكيد هناك الكثير من الاستعمالات والتطبيقات وسنذكر هنا بعضاً منها، فضلاً عن الذي درسته سابقاً:

a- المجال الطبي مثلاً يمكن استعمال الاشعاع النووي والطاقة النووية في القضاء على بعض الكائنات المرضية التي تسبب بعض الامراض كالفيروسات وكذلك في تعقيم بعض المستلزمات الطبية.

b- المجال الزراعي مثلاً في دراسة فسلجة النبات وتغذيته وحفظ المواد الغذائية، لاحظ الشكل (32).

c- المجال الصناعي مثلاً في تسيير المركبات الفضائية لاحظ الشكل (33)، وكذلك في تسيير السفن البحرية والغواصات، لاحظ الشكل (34). كما ان هناك الكثير من التطبيقات المفيدة الاخرى للانسان وفي مختلف مناحي الحياة، والتي لا يتسع المجال لذكرها هنا.



شكل (32)

هل تعلم

أن أول عملية توليد للطاقة الكهربائية من الطاقة النووية كانت في عام 1951، والان يوجد اكثر من ثلاثين بلداً يستثمر الطاقة النووية لتوليد الطاقة الكهربائية.



شكل (33)



شكل (34)

أسئلة الفصل العاشر

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1 – نصف قطر النواة (R) يتغير تغيراً:

a – طردياً مع $A^{\frac{1}{3}}$.　　b – عكسياً مع $A^{\frac{1}{3}}$.

c – طردياً مع (A^3).　　d – عكسياً مع (A^3).

2 – تكون قيم معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون:

a– أكبر لنوى العناصر الخفيفة.　　b– أكبر لنوى العناصر الثقيلة.

c– متساوية لجميع نوى العناصر.　　d– أكبر لنوى العناصر المتوسطة.

3 – كل مما يلي من خصائص القوة النووية ما عدا انها:

a– تربط وتمسك بنيوكليونات النواة.　　b– لاتعتمد على الشحنة.

c– ذات مدى طويل جداً.　　d– الاقوى في الطبيعة.

4 – إذا افترضنا أن طاقة الربط النووية لنواة النيون $\left({}^{20}_{10}Ne\right)$ تساوي $(161MeV)$. فإن معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة النيون بوحدات (MeV) يساوي:

a– 8.05　　b– 16.1

c– 3220　　d– 1610

5 – تنحل نواة نظير البولونيوم $\left({}^{218}_{84}Po\right)$ تلقائياً الى نواة نظير الرصاص $\left({}^{214}_{82}Pb\right)$ بوساطة انحلال:

a– كاما.　　b– بيتا السالبة.

c– بيتا الموجبة.　　d– الفا.

6 – عندما تعاني نواة تلقائياً انحلال بيتا الموجبة فإن عددها الذري:

a– يزداد بمقدار واحد.　　b– يقل بمقدار واحد.

c– يقل بمقدار اربعة.　　d– لا يتغير.

7 – في التفاعل النووي التالي:

$${}^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{A}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

تكون قيمة العدد (A) هي:

a– 13　　b– 12

c– 5　　d– 6

8 – في الفيزياء النووية تسمى عملية اندماج نواتين صغيرتين (خفيفتين بالكتلة) لتكوين نواة اثقل:

a– انشطار نووي. b– عملية الأسر الالكتروني.

c– انحلال بيتا الموجبة. d– اندماج نووي.

9 – من مصادر الاشعاع النووي الخلفي الطبيعي هي:

a– الغبار المتساقط من اختبارات الاسلحة النووية. b– الاشعة الكونية.

c– الاشعاعات النووية المنتجة من المفاعلات النووية. d– ولا واحدة منها.

10 – تتم عملية الانشطار النووي لنواة اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) باستعمال:

a– بروتون ذو طاقة صغيرة. b– جسيمة الفا ذات طاقة صغيرة.

c– نيوترون بطيء. d– ولا واحدة منها.

س2 ما المقصود بكل مما يأتي:

البوزترون ، الانشطار النووي ، طاقة الربط النووية ، التفاعل النووي المتسلسل ، الاندماج النووي ، المفاعل النووي.

س3 ما الجسيم الذي:

a– عدده الكتلي يساوي واحد وعدده الذري يساوي صفر.

b– يطلق عليه مضاد الالكترون.

c– يرافق الالكترون في انحلال بيتا السالبة التلقائي.

d– يرافق البوزترون في انحلال بيتا الموجبة التلقائي.

س4 ماهو الشرط اللازم لنواة تنحل تلقائياً بوساطة انحلال الفا؟

س5 علل مايأتي:

a– تنبعث أشعة كاما تلقائياً من نوى بعض العناصر المشعة.

b– تُعد النيوترونات قذائف مهمة في التفاعلات النووية.

س6 ما الطرائق التي تنحل بها بعض النوى تلقائياً بانحلال بيتا؟

س7 بما أن النواة أساساً لاتحتوي على الالكترونات فكيف يمكن للنواة أن تبعث الكتروناً؟ وضح ذلك.

س8 ما قوانين الحفظ التي يجب أن تتحقق في التفاعلات النووية؟

س9 أكمل المعادلات النووية الآتية:

a – $^{2}_{1}H + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{7}_{3}Li + ?$

b – $^{12}_{6}C^{*} \rightarrow ^{12}_{6}C + ?$

c – $^{56}_{27}Co \rightarrow ^{56}_{26}Fe + ? + \nu$

d – $^{1}_{0}n \rightarrow ? + ? + ?$

س10 من أين تأتي الطاقة الهائلة من عملية الانشطار النووي؟

س11 ماذا يحصل إذا لم يسيطر على التفاعل النووي المتسلسل؟

س12 نواة اليورانيوم ($^{238}_{92}U$) انحلت بوساطة انحلال ألفا التلقائي فتحولت إلى نواة الثوريوم (Th). ثم انحلت نواة الثوريوم بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة (X). ثم انحلت نواة (X) بوساطة انحلال بيتا السالبة التلقائي وتحولت الى نواة (X́).

a– اكتب المعادلات النووية الثلاث لهذه الانحلالات النووية بالتسلسل.

b– حدد اسم النواة (X́).

س13 ما العمليات والتفاعلات النووية الرئيسة لانتاج الطاقة الهائلة في الشمس؟

س14 ماذا نعني بقولنا (غالبا ما يطلق على التفاعل النووي الاندماجي المسيطر عليه بمصدر الطاقة الذي قد لاينضب).

س15 ما العائق الرئيس للحصول على طاقة مفيدة من الاندماج النووي؟

س16 ما تأثير ومخاطر الاشعاع النووي على جسم الإنسان؟ وضح ذلك.

س17 ما الأجراء الاحترازي اللازم اتخاذه لكي نقي انفسنا من مخاطر الأشعاع النووي الخارجي الذي قد يمكن أن نتعرض له اضطرارياً ؟ وضح ذلك.

مسائل الفصل العاشر

استفد:

كتلة ذرة الهيدروجين $(^1_1H) = 1.007825(u)$

كتلة ذرة الهيليوم $(^4_2He) = 4.002603(u)$

كتلة النيوترون $= 1.008665(u)$

$$1u = 1.66\times10^{-27}(kg)\ ,\ h = 6.63\times10^{-34}(J.s)$$

$$c = 3\times10^{8}(m/s)\ ,\ e = 1.6\times10^{-19}(C)$$

$$1eV = 1.6\times10^{-19}(J)$$

س1 / وضع وقود نووي داخل مفاعل نووي ، وبعد حدوث التفاعل النووي كان النقص في كتلته الذي تحول الى طاقة نووية يساوي (0.25g) .جد مقدار الطاقة النووية الناتجة مقدرة بوحدة (MeV).

س2 / للنواة $(^{56}_{26}Fe)$ جد:

a – مقدار شحنة النواة.

b – نصف قطر النواة مقدراً بوحدة (m) أولاً ، وبوحدة (F) ثانياً .

c – حجم النواة مقدراً بوحدة (m^3)

مع العلم بان $(\sqrt[3]{7} = 1.913)$.

س3 / إذا علمت أن نصف قطر نواة البولونيوم $(^{216}_{84}Po)$ يساوي ضعف نصف قطر نواة مجهولة (X). جد العدد الكتلي للنواة المجهولة؟

س4 / جد طاقة الربط النووية لنواة $(^{126}_{52}Te)$ مقدرة بوحدة (MeV) أولاً ، وبوحدة (J) ثانياً . إذا علمت أن كتلة ذرة $(^{126}_{52}Te)$ تساوي (125.903322 u) .

س5 / للنواة $(^{12}_{6}C)$ جد:

a– النقص الكتلي مقدراً بوحدة (u).

b– طاقة الربط النووية مقدرة بوحدة (MeV).

c– معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون مقدرة بوحدة (MeV) .

مع العلم أن كتلة ذرة $(^{12}_{6}C)$ تساوي (12u).

س6 / أي من النواتين الآتيتين تمتلك طاقة ربط نووية أكبر من الاخرى ، نواة (^3_1H) أم نواة (^3_2He) ؟ جد الجواب بوحدة (MeV) . مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$^3_2He = 3.016030(u)\ ,\ ^3_1H = 3.016050(u)$.

س7 / برهن على أن نواة البلوتونيوم ($^{236}_{94}Pu$) تحقق شرط الانحلال التلقائي الى نواة اليورانيوم ($^{232}_{92}U$) بوساطة انحلال الفا. اكتب أيضاً المعادلة النووية للانحلال. مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{232}_{92}U = 232.037168(u) \quad , \quad ^{236}_{94}Pu = 236.046071(u) .$$

س8 / ما مقدار تغير كتلة نواة ساكنة ابتدائياً عندما تطلق تلك النواة اشعة كاما طاقتها ($2MeV$) ؟جد الجواب مقدراً بوحدة (u) اولاً ، وبوحدة (kg) ثانياً . ما الطول الموجي لهذه الاشعة مقدراً بوحدة (m) ؟ اهمل ارتداد النواة .

س9 / حدث تفاعل نووي بين جسيم ساقط ونواة البريليوم ($^{9}_{4}Be$) الساكنة ونتج عن هذا التفاعل جسيم النيوترون ونواة الكاربون ($^{12}_{6}C$) .

a- عبر عن هذا التفاعل بمعادلة تفاعل نووي ومنها حدد اسم الجسيم الساقط .

b- جد طاقة التفاعل النووي مقدرة بوحدة (MeV) ؟

c- ما نوع هذا التفاعل النووي ؟

مع العلم أن الكتل الذرية لكل من:

$$^{12}_{6}C = 12(u) \quad , \quad ^{9}_{4}Be = 9.012186(u) .$$

س10 / حدث تفاعل نووي بين بروتون ساقط ونواة السماريوم ($^{150}_{62}Sm$) الساكنة ونتج عن هذا التفاعل جسيمة الفا و نواة البروميثيوم ($^{147}_{61}Pm$) . فإذا علمت أن طاقة التفاعل النووي تساوي ($6.88 \ MeV$) وأن كتلة ذرة السماريوم تساوي ($149.917276 \ u$). عبر عن هذا التفاعل بمعادلة تفاعل نووي، ثم جد كتلة ذرة البروميثيوم مقدرة بوحدة (u) .

س11 / إذا افترضنا بانه طاقة مقدارها ($200 \ MeV$) تحرر عند انشطار نواة واحدة من اليورانيوم ($^{235}_{92}U$) . جد عدد نوى اليورانيوم اللازمة لتحرير طاقة مقدارها ($3.2\times10^{12} \ J$).

المصادر

1- Thomas L. Floyd, Electronic Devices, 7th Edition, Pearson Prentice Hall 2005.

2- Hallday , Resnick , Walker J., Fundamental of Physics, 8th Edition, Wiley 2008.

3- Bauer W. ,Gary D. Westfall , University Physics, Mc Graw Hill, 2011.

4- Randall D. Knight, Physics For scientists and Engineers, 2nd Edition Pearson Addison Wesley .

5- Vuille C. , Serway A. Raymond , College Physics, 8th Edition, Brooks/ Cole, 2009.

6- Krauskopf B. Konrad , Beiser A. ,7th Edition, Mc Graw Hill,2006.

7- Dobson K. , Grace D. & Lovett D., physics ,3rd , Collins Advanced Science.

8- Hecht , Eugene , Physics : Calculus, Brooks /Cole ,1996.

9- Cutnell D. John , Johnson W. Kenneth, Introduction to Physics, 8th edition Wiley & Sons 2010.

10- Young D. Hugh , Freedman A. Roger ,Ford A. Lewis, University Physics with Modern Physics,13th Edition Pearson 2012.

محتويات الكتاب